

Patientenrelevantes Ergebnis nach operativer  
Astigmatismuskorrektur mittels "T-Cuts" — Systematische  
Analyse einer konsekutiven Serie.

---

**Bachelorarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Bachelor of Science**

in Augenoptik und Hörakustik

an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Aalen

**Nina Dineva**

**26.02.2013**

Erstkorrektor: Prof. Dr. Thomas Kirschkamp

Zweitkorrektor: Prof. Dr. Daniel Böhringer

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>8</b>
1.1	Definition des Astigmatismus .....	8
1.2	Typische Ursachen des Astigmatismus.....	8
1.3	Formen.....	8
1.4	Therapie .....	9
1.4.1	Optische Korrektionsmöglichkeiten .....	9
1.4.2	Chirurgische Korrekturmöglichkeiten.....	10
1.5	Fragestellung .....	12
<b>2</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>14</b>
2.1	Patientenkollektiv .....	14
2.2	Demographische Daten.....	14
2.3	Operationstechnik .....	15
2.3.1	Schnittgeometrie .....	15
2.3.1.1	Position der Schnitte.....	15
2.3.1.1.1	Wirkungsprinzip.....	15
2.3.1.1.2	Optische Zone.....	16
2.3.1.2	Endringtiefe .....	16
2.3.1.3	Schnittlänge.....	16
2.3.1.4	Schnittanzahl .....	16
2.3.2	Parameter der angewandten Schnittgeometrie.....	16
2.3.1	Operationsverfahren.....	17
2.4	Untersuchungsmethoden .....	17
2.4.1	Visus .....	18
2.4.2	Hornhauttopographie.....	19
2.5	Fragebogen.....	20
2.6	Statistische Auswertung der Daten .....	21
2.6.1	Bewertung des Operationserfolges .....	21
2.6.2	Subjektiv empfundener Operationserfolg.....	22
2.6.3	Objektiver Operationserfolg.....	24

2.6.4	Fragebogen.....	25
2.6.5	Deskriptive Methoden.....	25
<b>3</b>	<b>Ergebnisse und Analyse.....</b>	<b>26</b>
3.1	Darstellung der Ergebnisse aller Messmethoden.....	26
3.2	Nachbeobachtungszeit.....	27
3.3	Langzeitstabilität Keratometrie .....	27
3.4	Bewertung des Astigmatismus .....	29
3.4.1	Mithilfe des Netto-Zylinderwertes .....	29
3.4.2	Mithilfe des Astigmatismus-Scores.....	29
3.5	Berechnung der induzierten Änderung.....	30
3.5.1	Aus der Differenz der Zylinderwerte .....	31
3.5.2	Mithilfe der Vektoranalyse .....	33
3.5.3	Aus der Differenz des Astigmatismus-Scores.....	35
3.6	Irregularität .....	36
3.6.1	Änderung des Irregularitätsindexes .....	37
3.7	Das sphärische Äquivalent.....	38
3.8	Visus .....	40
3.8.1	Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur .....	40
3.8.2	Zeilengewinn mit bestmöglicher Brillenkorrektur .....	41
3.8.3	Sehschärfe ohne Brillenkorrektur.....	43
3.8.4	Zeilengewinn ohne Brillenkorrektur.....	45
3.9	Fragebogenergebnisse .....	46
3.10	Wirksamkeit des Verfahrens .....	47
3.10.1	Brillenanpassbarkeit.....	48
3.10.2	Verbesserung der Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur .....	49
3.10.3	Zunahme des irregulären Astigmatismus .....	50
3.11	Die sehbezogene Lebensqualität .....	51
3.12	Komplikationen.....	51
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>52</b>

4.1	Datenqualität .....	52
4.2	Wahl der Analysemethoden zur Quantifizierung des Operationseffekts...	55
4.3	Wirksamkeit des operativen Verfahrens.....	55
4.3.1	Operationsergebnis .....	55
4.3.2	Nachbeobachtungszeit .....	59
4.3.3	Langzeitstabilität des T-Cut Effektes .....	59
4.3.4	Wirksamkeit des Verfahrens.....	60
4.3.4.1	Patientenbild.....	60
4.3.4.2	Brillenanpassbarkeit .....	61
4.3.4.3	Zunahme des irregulären Astigmatismus .....	62
4.3.4.4	Verbesserung der Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur .....	63
4.4	Die sehbezogene Lebensqualität .....	63
4.5	Sicherheit des operativen Verfahrens .....	65
4.5.1	Patienten mit Visusabfall .....	65
4.5.2	Patienten mit starker Verschlechterung des refraktiven Astigmatismus .....	66
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>67</b>
<b>6</b>	<b>Ausblick.....</b>	<b>67</b>
<b>7</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>68</b>
<b>8</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>69</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>71</b>

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AGR	Astigmatismus gegen die Regel
AK	Astigmatische Keratotomie
AMD	Altersbedingte Makuladegeneration
ANR	Astigmatismus nach der Regel
AOBL	Astigmatismus obliquus
Bzw.	Beziehungsweise
Ca.	Circa
D	Dioptrien
Fa.	Firma
LASIK	Laser In Situ Keratomileusis
Max.	Maximum
Min.	Minimum
mm	Millimeter
pKP	Perforierende Keratoplastik
PRK	Photorefraktive Keratektomie
Re-pKP	Erneute perforierende Keratoplastik
Sim-K	Simulierte Keratometrie
T-Cut	Transversale Keratotomie
Vcc	Visus mit Korrektur
Vsc	Visus ohne Korrektur
z.B.	Zum Beispiel
Zyl	Zylinder

## **Abstract**

### **Hintergrund**

Die chirurgische Astigmatismusreduktion mittels limbusparalleler Entlastungsschnitte ("T-Cuts") ist indiziert, wenn der Astigmatismusausgleich mittels Brille oder Kontaktlinse nicht funktioniert. Das Operationsergebnis ist allerdings nicht gut vorhersagbar und der Eingriff kann irreguläre Astigmatismuskomponenten induzieren.

Ziel dieser Arbeit ist die systematische Überprüfung des Operationserfolges und der Patientenzufriedenheit aller T-Cut Eingriffe an der Universitäts-Augenklinik Freiburg in den Jahren 2003-2012. Besonderes Augenmerk wurde auf die subjektive Bewertung des Operationserfolges gerichtet.

### **Methoden**

Es wurden die Krankenakten von 41 Patienten nach der T-Cut-Operation systematisch gesichtet. 22 Patienten wurden bei nicht ausreichender Nachbeobachtung zu einer erneuten Untersuchung einbestellt. 12 dieser Patienten stellten sich vor. Den Akten wurden, soweit vorhanden, die folgenden Parameter für die präoperative Untersuchung und alle Nachkontrollen entnommen: Sehschärfe ohne Korrektur, bestkorrigierte Sehschärfe, Refraktionswerte, Keratometrie, Transplantatüberleben. Bei 22 Patienten wurde zusätzlich der NEI VFQ-25 Fragebogen erhoben.

Berechnet wurden unter anderem die Änderung der bestkorrigierten Sehschärfe, des Hornhautastigmatismus der Irregularität sowie die Brillenanpassbarkeit auf Grundlage von Zylinderwert in Kombination mit der Achse. Schlussendlich wurde die Änderungen durch die T-Cuts mit den Angaben des NEI VFQ-25 Fragebogens korreliert.

### **Ergebnisse**

Bei 28 von 40 Patienten verbesserte sich die bestmögliche Brillenkorrektur, bei 3 blieb sie stabil und bei 9 fiel sie ab. Bei nur 3 von den letztgenannten Patienten war ein Zusammenhang mit den T-Cuts wahrscheinlich. Die Brillenanpassbarkeit verbesserte sich bei 18 von 34 Patienten. Bei 16 Augen war eine Verschlechterung

nach dem T-Cut Eingriff zu verzeichnen. Die Verbesserung der bestkorrigierten Sehschärfe durch den T-Cut zeigte sich statistisch signifikant positiv, da sie mit der am Ende der Nachbeobachtungszeit subjektiv wahrgenommen Sehleistung korreliert.

### **Schlussfolgerung**

Die T-Cuts sind zur Reduktion des hohen Hornhaut-/ Transplantatastigmatismus geeignet. Auch wenn die Ametropie durch den Eingriff nicht komplett kompensiert werden kann, ließ sich ein direkter Patientennutzen nachweisen. Die Möglichkeit einer Verschlechterung der Sehschärfe in Einzelfällen muss allerdings im Vorfeld angesprochen werden.

# **1 Einleitung**

## **1.1 Definition des Astigmatismus**

Besitzt die Hornhaut in unterschiedlichen Meridianen unterschiedliche Krümmungsradien und dadurch auch unterschiedliche Brechwerte, so liegt ein Hornhautastigmatismus vor. Dies führt zu einer verzerrten, stabförmigen Abbildung eines Punktes auf der Netzhaut und damit zu unscharfem Sehen. Die reduzierte Sehschärfe, die erhöhte Blendempfindlichkeit, so wie anisometropiebedingte Störungen des Binokularsehens können einen starken negativen Einfluss auf die Lebensqualität der Patienten zur Folge haben.

## **1.2 Typische Ursachen des Astigmatismus**

Unterschieden wird zwischen regelmäßigem (regulärem) und unregelmäßigem (irregulärem) Astigmatismus. Geringgradiger regulärer Astigmatismus ist in der Regel angeboren. Hoher regulärer Astigmatismus und auch irregulärer Astigmatismus werden nach einer perforierenden Hornhauttransplantation beobachtet. Der Astigmatismus kann dabei ohne geeigneten Ausgleich dazu führen, dass trotz klarem Transplantat keine ausreichende Sehschärfe erreicht werden kann. Die Ursachen für den hohen Astigmatismus nach einer Hornhauttransplantation liegen in Inkongruenzen zwischen Transplantat und Empfängerbett, in der Fadenspannung und in den Vernarbungsprozessen im Transplantatinterface. Der induzierte reguläre und der irreguläre Astigmatismus können auch durch eine Kataraktoperation, eine eindellende Operation bei einer Netzhautablösung erworben werden [1].

## **1.3 Formen**

Beim regulären Astigmatismus besteht eine unterschiedliche Brechkraft in zwei zueinander senkrechten Meridianen, den so genannten Hauptschnitte des Auges. Diese können selten auch schräg in einer Achse des korrigierenden Zylinderglases zwischen  $30^\circ$  und  $59^\circ$  sowie  $120^\circ$  und  $149^\circ$  (Astigmatismus obliquus) liegen. Wenn der vertikale Hauptschnitt stärker brechend ist als der horizontale, liegt ein Astigmatismus nach der Regel (Astigmatismus rectus) mit einer Achse des Korrektionszylinders von  $0^\circ$  bis  $30^\circ$  und  $150^\circ$  bis  $180^\circ$  vor. Im entgegengesetzten Fall besteht ein Astigmatismus gegen die Regeln (Astigmatismus inversus) mit einer Korrektionsachse von  $60^\circ$  bis  $120^\circ$ .



Im Gegensatz zum regulären Astigmatismus, sind Krümmung und Brechkraft der vorderen Hornhautoberfläche beim irregulären Astigmatismusanteil unregelmäßig. Wegen der unregelmäßigen Lichtbrechung entsteht eine vermehrte Blendempfindlichkeit.

## **1.4 Therapie**

### **1.4.1 Optische Korrektionsmöglichkeiten**

Der hohe Hornhautastigmatismus und der irreguläre Astigmatismus nach einer Hornhauttransplantation sind Formen der Fehlsichtigkeit, die oft mittels Brille nicht zu voller Zufriedenheit der Patienten korrigierbar sind und erfordern somit eine Kontaktlinsenanpassung.

Der Grund dafür liegt in den unterschiedlichen Stärken, bzw. Gesamtvergrößerungen in beiden Hauptschnitten des sphäro-torischen Brillenglases. Demzufolge entstehen verzerrte Netzhautbilder, die sich bei Astigmatismus rectus im Vergleich zu Astigmatismus inversus als weniger störend erweisen. Bei Astigmatismus obliquus kann die schiefe Lage der Hauptschnitte, besonders bei hohen Stärken, zu erheblich ungünstigen Störungen des Binokularsehens durch Raumverzerrungen führen. Auch bei hohen Astigmatismuswerten allgemein und hohem Unterschied des Refraktionsdefizites beider Augen (Anisometropie), kann es zu Störungen des beidäugigen Sehens kommen. Von Nachteil sind auch prismatische Nebenwirkungen, die beim Blick durch Randpartien auftreten.

Beim irregulären Astigmatismus ist die Form der Hornhautoberfläche und damit ihre Brechkraft unregelmäßig (z.B. durch Hornhautnarben). Daher kann kein Ausgleich mittels Zylindergläser erfolgen. Außerdem erweist sich die Hornhautirregularität während einer Refraktionsbestimmung als störend, sodass es ab einem bestimmten Wert der Sehschärfe zu keiner Verbesserung mehr kommen kann.

Im Gegensatz zu einer Brille kann der reguläre und irreguläre Astigmatismusanteil mit einer formstabilen Kontaktlinse bis auf einen Rest von ca. 10 % kompensiert werden. Hierbei „füllt“ die Tränenflüssigkeit die Unregelmäßigkeiten der Hornhautvorderfläche und reduziert somit deren optischen Wirkung [2].

Eine Korrektur mit einer Kontaktlinse wird gegenüber den unten diskutierten chirurgischen Verfahren bevorzugt, da sie sich als reversibel erweist, vollständig planbar ist und den regulären und irregulären Hornhautastigmatismus und den inneren Astigmatismus ausgleichen kann. Auch diese konsekutive Problemlösung verbietet sich nicht selten aus medizinischen Gründen oder findet speziell bei älteren Patienten unzureichende Akzeptanz.

Fehlender Visusanstieg, erhöhte Blendempfindlichkeit, anisometropiebedingte Störungen des Binokularsehens und fehlender Erfolg mittels Kontaktlinsen sind typische Beschwerden, die die Patienten im Alltag einschränken können. Dies kann einen starken Einfluss auf die sehbezogene Lebensqualität dieser Patienten zur Folge haben. In diesem Fall erweist sich die refraktive Chirurgie als sinnvoll.

#### **1.4.2 Chirurgische Korrekturmöglichkeiten**

Es gibt eine Vielzahl von operativ-refraktiven Verfahren und Techniken zur Astigmatismuskorrektur. Dazu gehören Laserverfahren mittels LASIK, PRK oder Femtosekundenlaser sowie Implantation einer zusätzlichen Linse, Ersatz der körpereigenen Linse oder die astigmatische Keratotomie. Mithilfe dieser Maßnahmen können konventionelle optische Korrektionsmittel wie Brille oder formstabile Kontaktlinse teilweise oder komplett ersetzt werden. Auch deren erneute Anpassung kann durch die deutliche Reduktion der benötigten Stärke optimiert werden.

Die astigmatische Keratotomie (AK) zur Reduktion von Hornhautastigmatismus ist eine der ältesten Methoden in der refraktiven Chirurgie. Schon 1869 entwickelte Snellen ein operatives Verfahren mittels Hornhautschnitte zur Reduktion des hohen Hornhautastigmatismus nach einer Kataraktoperation [24]. Weitere Fortschritte durch Fyodorov [3] in den 80er Jahren, so wie von Ruiz und Waring, führten zu einer Verbreitung dieser nun optimierten Methode. Die ausschlaggebende Weiterentwicklung der AK wurde durch die Arbeiten von Lindstron mit der Einführung von kalibrierbaren Diamantmessern [4], von Thornton mit der Berücksichtigung der „coupling ratio“ [5] und die Arbeit von Nordan [6] erreicht. Heutzutage sind unterschiedliche Schnittverfahren an der Hornhaut bekannt - von den nicht mehr aktuellen radiären Schnitten und den trapezförmigen Schnitten nach Ruiz, bis hin zur, mittels moderner Technik weiterentwickelten transversalen und bogenförmigen (arkuaten) Keratotomie [7].

In dieser Arbeit wird die transversale Keratotomie untersucht, die im Folgenden mit „T-Cut(s)“ bezeichnet wird. Dieser Eingriff erweist sich als einfach durchführbar, effektiv und relativ sicher [8], [9], [21]. Die peripheren Hornhautschnitte können die Hornhautverkrümmung prinzipiell reduzieren und dadurch die Gesamtbrechkraft des Auges verändern. Allerdings ist das Verfahren nicht gut standardisierbar, da bisher keine operateur-unabhängigen Normogramme verfügbar sind. Andererseits werden in gewissem Umfang auch Irregularitäten durch die Hornhautschnitte induziert, sodass es zu einer Abnahme der Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur nach dem Eingriff kommen kann.

### **Stufenschema der Astigmatismuskorrektur**

Zuerst wurde eine bestmögliche Brillenkorrektur vorgenommen. Wenn sich diese als nicht ausreichend, praktikabel oder verträglich erweist, wird eine Kontaktlinsenanpassung versucht. Sollte auch diese konservative Problemlösung an ihre Grenzen stoßen oder aus unterschiedlichen Gründen vom Patienten abgelehnt, dann bleibt die refraktive Chirurgie als letzte Möglichkeit. Demzufolge haben die Patienten, denen ein solcher Eingriff angeboten wurde, bereits eine längere Leidensgeschichte hinter sich gebracht und sind tendenziell weniger zufrieden als Patienten, bei denen eine unkomplizierte Brillen-, bzw. Kontaktlinsenkorrektur gelang.

Diese Arbeit soll der Versorgungsforschung dienen und erfasst somit die Realsituation aller Patienten. Hier wurden retrospektiv alle Patienten in Betracht gezogen, bei denen T-Cuts in den Jahren 2003 bis 2012 an der Universitäts-Augenklinik Freiburg durchgeführt wurden. Dieses Patientenkollektiv besteht überwiegend aus Patienten mit hohem Hornhautastigmatismus und mit fehlendem Korrekturerfolg mittels formstabiler Kontaktlinse, der nach einer perforierenden Keratoplastik (pKP) induziert wurde.

Um den Effekt der T-Cut-Operation und dessen Auswirkung auf die sehbezogene Lebensqualität zu beurteilen, wurden die prä- und postoperativen Patientendaten und Messergebnisse sowie die Ergebnisse des NEI VFQ-25 Fragebogens (National Eye Institute Visual Functioning Questionnaire USA), als allgemein anerkanntes Instrument in der Augenheilkunde [23], analysiert.

## 1.5 Fragestellung

An der Universitäts-Augenklinik Freiburg ist der klinische Eindruck entstanden, dass mittels T-Cut in der Regel keine ausreichend zuverlässige Reduktion des Hornhautastigmatismus erreichbar ist, und die Patienten regelhaft mit dem Ergebnis unzufrieden sind. In der Literatur gibt es unterschiedliche Angaben über den Erfolg der T-Cuts bei Patienten mit hohem Hornhautastigmatismus. Allerdings ist die prinzipielle Wirksamkeit dieser Methode unbestritten. Berichtet wird auch über die unzureichende Steuerbarkeit als Nachteil, weshalb eine ausreichende Senkung der Hornhautverkrümmung nicht garantiert werden kann [8], [9]. Auch ein Übereffekt durch Induktion einer entgegengesetzten Hornhautverkrümmung ist möglich [10].

Ziel dieser Arbeit ist, den refraktiven Erfolg und die subjektive Zufriedenheit der Patienten, die sich in den Jahren zwischen 2003 bis 2012 an der Universitäts-Augenklinik Freiburg einem T-Cut unterzogen hatten, systematisch zu untersuchen.

Im Detail sollten die folgenden Fragen beantwortet werden:

In welchem Prozentsatz ist nach einer T-Cut-Operation mit einer funktionell relevanten Verbesserung der Refraktion zu rechnen?

In welchem Prozentsatz ist nach einer T-Cut-Operation mit einer subjektiv empfundenen Verbesserung der Sehfunktion zu rechnen?

Welche Eigenschaften des Patienten sagen einen günstigen bzw. ungünstigen Operationserfolg voraus?

Wie stabil ist das refraktive Ergebnis?

Ob der sogenannte irreguläre Astigmatismusanteil durch eine T-Cut-Operation vielleicht sogar vermehrt wird ist unklar.

Zusätzlich ist unklar, inwieweit trotz einer Verringerung der messbaren Hornhautverkrümmung eine postoperative Verbesserung der Sehschärfe mit Brille erreichbar ist. Grund für diese Unsicherheit ist der irreguläre Anteil der Hornhautverkrümmung, der mit einer Brille prinzipiell nicht korrigiert werden kann.

Generell ist die sehbezogene Lebensqualität sehr komplex und lässt sich von vielen Faktoren beeinflussen. Um diese Fragestellung zu beantworten, wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Teil dieser Faktoren herangezogen.

## **Hypothesen**

Ein irregulärer Astigmatismusanteil wird für die Verbesserung der Brillenanpassung von Nachteil sein und kann diese verhindern. Die Ursache für diese Annahme ist die störende Wirkung durch die unregelmäßige Lichtbrechung, die mithilfe einer Brille nicht kompensiert werden kann.

Die Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur ist im Vorfeld als Faktor patientenrelevant, bzw. ergebnisrelevant, wenn ein gewisser Ausgangsvisus vorhanden ist.

Aufgrund der Nachbeobachtungszeit, die sich über viele Jahre erstreckt, werden die Nachkontrollen einen abklingenden Charakter haben.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Patientenkollektiv**

An der Universitäts-Augenklinik Freiburg im Breisgau wurden in den Jahren zwischen 2003 und 2012 41 T-Cut-Operationen an 41 Augen von 41 Patienten mit hohem Hornhautastigmatismus durchgeführt. Im Rahmen dieser retrospektiven Arbeit wurden die Krankenakten dieser Patienten systematisch durchgesehen und ausgewertet. Dabei wurden alle dokumentierten Werte der Sehschärfe ohne sowie mit bestmöglicher Brillenkorrektur datiert in eine Datenbank eingetragen. Ebenso wurde mit den keratometrischen Messwerten verfahren. Auch wurden alle vorhandenen Daten über die Schnittgeometrie in der T-Cut-Operation erfasst. Die Nachbeobachtung endete immer zum Zeitpunkt eines Transplantatversagens und/oder erneuter Keratoplastik am T-Cut Auge.

Bei einer Gruppe von 22 Patienten lag die letzte Untersuchung über zwei Jahre zurück. Diese wurden für eine aktualisierte Untersuchung einbestellt.

### **2.2 Demographische Daten**

Diese retrospektive Arbeit umfasst insgesamt 41 Augen von 41 Patienten (21 Frauen, 20 Männer), die im Zeitraum 2003 - 2012 an der Universitäts-Augenklinik Freiburg im Breisgau eine T-Cut-Operation zur Korrektur von Hornhautastigmatismus erhielten. Diese Arbeit dient der Versorgungsforschung und erfasst somit die Realsituation aller Patienten unabhängig von deren Krankheitsbildern. Vorgenommen wurde der Eingriff bei 39 der Patienten (95 %) nach einer perforierenden Keratoplastik und bei 2 Patienten (5 %) als refraktive Maßnahme zum Ausgleich des angeborenen Hornhautastigmatismus. Das Alter der Patienten zum Zeitpunkt der T-Cuts lag zwischen 24 und 84 (im Mittel 59) Jahren. Die Indikationsdiagnosen lassen sich unterteilen in Fuchs-Endotheldystrophie (36,5 %), Keratokonus (36,5 %), Keratitis bullosa (7 %) und sonstige (20 %) (Tabelle 2-1).

Diagnose	Anzahl der Augen	Prozentsatz
Fuchs-Endotheldystrophie	15	36,5 %
Keratokonus	15	36,5 %
Keratitis bullosa	3	7 %
Sonstige	8	20 %
<b>Gesamt</b>	<b>41</b>	<b>100 %</b>

Tabelle 2-1 Indikation der 41 Augen mit T-Cuts

Aus unterschiedlichen Gründen war bei vier Patienten (3 Frauen, 1 Mann) im Verlauf eine erneute perforierende Keratoplastik notwendig. Die Daten nach diesem Zeitpunkt wurden bei der Auswertung nicht mehr berücksichtigt.

## 2.3 Operationstechnik

### 2.3.1 Schnittgeometrie

Die T-Cut-Operation ist durch die Position der Schnitte, deren Eindringtiefe, Schnittlänge und Schnittanzahl definiert. Die Wahl der Schnittparameter erfolgte intraoperativ unter Placido-Kontrolle. Hier wurden die Schnittparameter, anhand der auf der Hornhautoberfläche abgebildeten Spiegelbilder der Placido-Ringe, optimiert.

Dennoch wurde eine Reihe von Voruntersuchungen durchgeführt. Neben der subjektiven und objektiven Refraktion, wurde die Hornhauttopographie gemessen.

#### 2.3.1.1 Position der Schnitte

##### 2.3.1.1.1 Wirkungsprinzip

Bei einem regulären Astigmatismus mit unterschiedlichen Hornhautkrümmungen stehen die Hauptschnitte senkrecht zu einander. Wird der Schnitt im steilen Meridian der Hornhaut unter Berücksichtigung der Topografie gesetzt, so führt dies zu einer Entspannung des elastischen Gewebes in diesem Meridian, wodurch die Stärke des Astigmatismus reduziert wird. Gleichzeitig nimmt die Hornhautkrümmung senkrecht dazu, d.h. im flachen Meridian, zu. Diese Auswirkung der T-Cuts ist unter „coupling effect“ bekannt. Das Verhältnis zwischen Abflachung und Aufsteilung, auch „coupling ratio“ genannt, kann von der optischen Zone [22], in der der Schnitt angesetzt wird, sowie von der Länge der Schnitte abhängig sein [11].

#### **2.3.1.1.2 Optische Zone**

Die Hornhaut wird in drei optische Zonen geteilt mit einem Durchmesser von jeweils 3 mm, 5 mm und 7 mm. Diese Unterteilung bezieht sich auf den Pupillendurchmesser, der je nach Fixationsentfernung und Lichtverhältnissen, Werte zwischen 0,5 mm in Miosis und 8 mm in Mydriasis annehmen kann [12]. Um eine möglichst fehlerfreie Abbildung auf der Netzhaut zu gewährleisten, werden die Schnitte in der Regel in der Peripherie der Hornhaut, in einer optischen Zone von > 5,2 mm gesetzt. In diesem Bereich steht die Abflachung und die Aufsteilung in einem Verhältnis von 1 : 1 [22]. Dadurch wird das sphärische Äquivalent nahezu unverändert. Faktorovich et al. [13] berichten über ein Verhältnis von Abflachung zu Aufsteilung von  $0,85 \pm 0,05$  und Diffney et al über einen Wert von 1,5 [14].

#### **2.3.1.2 Eindringtiefe**

Die Eindringtiefe als Parameter der Schnittgeometrie trägt auch zu der Gesamtwirkung der T-Cuts bei. In der Regel beträgt die Schnitttiefe 90 % bis 95 % der Hornhautdicke, die durch den Topograph (Pachymetrie) am Ort, an dem der Schnitt gesetzt wird, ermittelt wurde.

#### **2.3.1.3 Schnittlänge**

Anhand der topographischen Messergebnisse und der quantitativen Darstellung der Hornhauteigenschaften in Form von farbkodierten Abbildungen, wurde die Schnittlänge intraoperativ unter Placido-Kontrolle optimiert.

#### **2.3.1.4 Schnittanzahl**

In der Regel werden die Schnitte gepaart in den steilen Hornhautmeridian gesetzt. Die Anzahl der Schnittpaare wird intraoperativ unter einer Regularitätskontrolle angepasst.

### **2.3.2 Parameter der angewandten Schnittgeometrie**

Bei allen Patienten mit einer perforierenden Keratoplastik (95 %) wurden die T-Cuts auf dem Transplantat an der Spender-Empfänger-Grenze und bei den anderen (5 %) am Rand der 7 mm optischen Hornhautzone gesetzt. Die Schnittlänge, die Eindringtiefe und die Schnittanzahl wurden individuell, in der Regel im steilen Meridian, oft auch nicht symmetrisch, entsprechend der präoperativen



topographischen Messergebnisse bestimmt. Weitere Optimierungen der Schnittgeometrie erfolgten während der T-Cut-Operation unter der Regularitätskontrolle mittels einer Placido-Scheibe.

### **2.3.1 Operationsverfahren**

Nach einer ausführlichen, präoperativen Diagnostik erfolgte am Tag der Operation die Markierung der 180° Achse, die als eine Orientierungshilfe dienen sollte. Dies erfolgte in der Regel in Tropfbetäubung oder Retrobulbäranästhesie mittels Markeur in aufrechter Kopfposition, um den Effekt der Zyklorotation auszuschließen. Nach Desinfektion und Bulbusfixation wurde die optische Zone markiert. Anhand einer Gradskala wurde ausgehend von der 180°-Markierung die steile Achse festgelegt. Das Diamantmesser wurde auf die präoperativ vorbestimmte Schnitttiefe eingestellt. Bei der Durchführung des Schnittes musste das Diamantmesser senkrecht zur Hornhaut und langsam geführt werden. Dadurch war eine konstante Eindringtiefe ermöglicht und störende Narben, aufgrund eines schrägen Schnittes, wurden vermieden. Während der Operation diente eine Placido-Scheibe zur Regularitätskontrolle und zur Optimierung der Schnittgeometrie. Zum Schluss erhielt der Patient antibiotische Augentropfen und einen Verband [10].

Die Nachkontrolle begann schon am ersten postoperativen Tag. Durchgeführt wurde eine standardisierte Reihe von objektiven und subjektiven Messungen.

War das Ergebnis nicht zufriedenstellend, konnte in Einzelfällen ein weiteres Schnittpaar, bei stabilen Messwerten gesetzt werden.

## **2.4 Untersuchungsmethoden**

Bei 22 Patienten lag die letzte Untersuchung gemäß Aktendurchsicht über zwei Jahre zurück. Diese Gruppe wurde für eine aktualisierte Untersuchung einbestellt. Bei der aktualisierten Nachuntersuchung stellten sich 12 der ursprünglich 22 einbestellten Patienten vor. Es wurde eine Reihe von subjektiven und objektiven Untersuchungen durchgeführt.

Es wurde die Sehschärfe ohne, sowie mit bestmöglicher Brillenkorrektur erhoben. Dabei wurden die Patienten subjektiv refraktiert. Durchgeführt wurden objektive Messungen wie Autorefraktion, Orbscan Topographie und Endothelzelldichtemessung. Abschließend erfolgte eine augenärztliche

Untersuchung. Außerdem wurde der NEI VFQ-25 Fragebogen erhoben. Die nicht einbestellten Patienten wurden jeweils zur Ausfüllung des Fragebogens angeschrieben.

#### **2.4.1 Visus**

Zu den erhobenen Daten gehört die subjektiv ermittelte Sehschärfe ohne Brillenkorrektur, sowie mit bestmöglicher Brillenkorrektur. Die Messung erfolgte unter photopischen Bedingungen und in einem Abstand von 5 Metern, um den Akkommodationsreiz auszuschalten. Die Zahlen-Optotypen wurden mittels eines LCD Sehzeichenprojektors (Fa. NIDEK SC-1600P, Japan) generiert.

Die Bestimmung des bestkorrigierten Fernvisus erfolgte mittels Messbrille, sphärozyklischen Gläsern, Kreuzzylinder und Abgleichleiste.

Die Visusstufen unter 0,05 wurden mit einer Sehprobentafel in einem Meter Entfernung ermittelt. Bei Visusstufen unter 1/20 wird im Prinzip anhand von Fingerzählen, Handbewegungen, Lichtprojektion, Lichtwahrnehmung und Blindheit abgestuft. Die Sehschärfe mit und ohne Korrektur wurde logarithmisch nach Holladay und Prager dargestellt [15].

Monokulare Fernkorrektur – allgemeine Vorgehensweise:

Einstellung und Zentrierung der Messbrille

Fernrefraktion unter Berücksichtigung der am Autorefraktometer (Fa. NIDEK AR 310A, Japan) objektiv ermittelten Messwerte.

1. Okklusion des Gegenauges
2. Bestes sphärisches Glas bestimmen
3. Sphärischen Feinabgleich mittels Abgleichleiste
4. Zylinderachsenfeinabgleich mittels Kreuzzylinder
5. Zylinderstärkenabgleich mittels Kreuzzylinder
6. Endgültige Kontrolle der ermittelten Werte bei den drei oben genannten Schritten

#### **2.4.2 Hornhauttopographie**

Die Hornhautvorderfläche wurde mittels Videokeratoskops (Orbscan II, Fa. Bausch & Lomb, USA) analysiert. Dabei wurde die Hornhaut mit optischen Methoden systematisch vermessen und die optischen/geometrischen Hornhauteigenschaften in Form von farbkodierten Abbildungen quantitativ dargestellt.

Außerdem werden die Krümmungsradien und das Oberflächenrelief der Hornhaut berechnet und dargestellt. Zusätzlich wird die Hornhautbrechkraft mit regulärem und irregulärem Astigmatismus in drei optische Zonen (3 mm, 5 mm, 7 mm) aus der Abweichung der tatsächlichen Hornhautform von der sphärozyklindrischen Idealform in Dioptrien berechnet. Für diese Arbeit sind die Werte im zentralen 3 mm-Bereich relevant. Erhoben wurde der Wert der simulierten Keratometrie (Sim-K) in der 3 mm-Zone. Der Durchmesser von 3 mm wurde hauptsächlich aus historischen Gründen zum Vergleich mit der Standardkeratometrie gewählt. Für die Analyse werden vier zentrale Punkte verwendet, die 3,2 mm auseinander liegen.

Die Bestimmung der Hornhautdicke (Pachymetrie) wurde mittels Orbscan II durchgeführt. Zur Beurteilung des Hornhauttransplantats, erfolgte bei allen Patienten nach perforierender Keratoplastik eine Bestimmung der Hornhautendothelzelldichte mithilfe des Endothelzell-Mikroskops (Fa. TOPCON SP 3000P, Japan).

Anschließend erfolgte eine augenärztliche Untersuchung des vorderen Augenabschnitts mithilfe einer Spaltlampe (Fa. HAAG – STREIT International, Schweiz). Abschließend wurde der Augenfundus mit einer asphärischen 78 D Lupe indirekt an der Spaltlampe gespiegelt.

## **2.5 Fragebogen**

Um den Effekt der T-Cut-Operation und dessen Auswirkung auf die sehbezogene Lebensqualität zu beurteilen, wurden die prä- und postoperativen Patientendaten und Messergebnisse sowie die postoperative Ergebnisse des VEQ-25 Fragebogens analysiert.

Aus Patientensicht wurde der Erfolg der T-Cut-Operation bzw. der Gewinn an Lebensqualität mittels NEI VFQ-25 Fragebogen erfasst. Dieser Fragebogen ist ein allgemeinakzeptiertes Instrument in der Augenheilkunde [23]. Er wurde bereits zu vielen unterschiedlichen Fragestellungen zur sehbezogenen Lebensqualität eingesetzt. Der NEI VFQ-25-Fragebogen erfasst folgende Dimensionen: General Health, General Vision, Ocular Pain, Near Activities, Distance Activities; Vision Specific: Social Functioning, Mental Health, Role Difficulties, Dependency, Driving, Color Vision, Peripheral Vision.

Alle Patienten, die sich nicht vorstellten oder nicht einbestellt wurden, wurden zum Ausfüllen des Fragebogens angeschrieben.

## **2.6 Statistische Auswertung der Daten**

### **2.6.1 Bewertung des Operationserfolges**

Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht die patientenrelevante Sehschärfe als Maß für die sehbezogene Lebensqualität. Hier erfolgte die Auswertung deskriptiv. Die Entlastungsschnitte, als operativ-refraktive Maßnahme zur Reduktion von hohem Hornhautastigmatismus, haben eine begrenzte Wirkung, weswegen der Astigmatismus sich oft nicht komplett kompensieren lässt. Der Restastigmatismus kann postoperativ mithilfe einer Brille, als einziger konservativer Problemlösung für diese Patientengruppe, teilweise oder vollständig korrigiert werden. Die Grenzen der Brillenkorrektur werden durch die individuelle Brillenverträglichkeit bestimmt. Dies führt in der Regel zu einer Erhöhung der Sehschärfe.

Deswegen ist für die Sehschärfe entscheidend, wie viel vom präoperativen Astigmatismus durch die Operation kompensiert wurde und dementsprechend, wie hoch der Restastigmatismus ist und ob er sich mit einer Brille, die für den Patienten auch verträglich ist, kompensieren lässt.

Das Erfolgsmerkmal der Operation soll die Verbesserung des patientenrelevanten Sehvermögens mit bestmöglicher Brillenkorrektur sein, die erreicht werden kann als Folge einer Reduktion des Hornhautastigmatismus, welche zu einer Optimierung der Brille und deren Verträglichkeit führen kann.

Aus diesem Grund eignen sich die subjektiv ermittelten Refraktionswerte besonders gut für die patientenrelevante Auswertung, bzw. für die Ermittlung des empfundenen Operationserfolgs. Die keratometrischen Messwerte sollen als objektiver Nachweis, einerseits der Operationswirkung und andererseits der subjektiv empfundenen Verbesserung, dienen.

### **2.6.2 Subjektiv empfundener Operationserfolg**

Um eine patientenrelevante Auswertung des Operationserfolges gewährleisten zu können, wurden die subjektiv ermittelten Refraktionswerte und die Sehschärfe ohne Brillenkorrektur und mit bestmöglicher Brillenkorrektur, sowie das sphärische Äquivalent analysiert. Hierbei wurde die Differenz der jeweils prä- und postoperativen Messergebnisse errechnet. Dadurch lässt sich der Effekt der induzierten Änderung mittels T-Cut-Operation auf die Brillenanpassung und die Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur ermitteln.

Sphäre, Zylinder und Achse der Brillenkorrektur lassen sich in einem „Score“ verrechnen, der die Beeinträchtigung des Seheindrucks bzw. Verträglichkeit der Brillengläser quantifiziert. Dieser „Score“ ist das Ergebnis einer ausführlichen Diskussion von Experten, die der Artikel von Morlet et al. zusammenfasst [16]. In diesem Artikel wurden die Vor- und Nachteile alternativer Methoden zur Quantifizierung von Brillenwerten gegeneinander abgewogen. Der Astigmatismus-Score wurde als besonders geeigneter Parameter empfohlen, um patientenrelevanten Änderungen bei hornhautchirurgischen Maßnahmen auszuwerten. Es gilt: Eine Verdopplung des „Score“-Wertes bedeutet eine Halbierung der Sehschärfe, bzw. eine Halbierung des „Score“-Wertes bedeutet eine Verdopplung der Sehschärfe. Alle anderen Methoden mittels Vektoranalyse oder nur mittels der Änderung des Netto-Zylinderwertes, stellten sich als weniger geeignet heraus [16].

Der „Score“ ist eine dimensionslose Zahl und kann Werte zwischen 1 und 22 annehmen. Grundsätzlich gilt je stärker der Zylinderwert ist, desto ungünstiger ist es für den Patienten und desto höher ist der dementsprechende „Score“-Wert. Als besonders vorteilhaft erweist sich die „Score“-Skala, die bei Zylinderwerten  $> -6$  D sättigt. Der Grund hierfür ist die Schwierigkeit, die ein Patient mit hohen Zylinderstärken haben kann, feine Unterschiede eindeutig zu erkennen. Damit bildet der „Score“-Wert genau das ab, was der Patient auch wahrnimmt. Es wird auch zwischen drei Achsenlagen unterschieden. Zwischen den günstigen Astigmatismus rectus, den weniger günstigen Astigmatismus inversus und den ungünstigen Astigmatismus obliquus. Je nach Achsenlage nimmt der „Score“-Wert ab bzw. zu (Tabelle 2-2) [16].

Zylinderstärke [D]	ANR (Achse 0-30° und 150-180°)	AGR (Achse 60- 120°)	AOBL (Achse 30-59° und 120-149°)
> -6,00	20	21	22
-5,25 - -6,00	17	18	19
-4,25 - -5,00	14	15	16
-3,25 - -4,00	11	12	13
-2,25 - -3,00	8	9	10
-1,25 - -2,00	5	6	7
-0,50 - -1,00	2	3	4
< -0,50	1	1	1
ANR = Astigmatismus nach der Regel, AGR = Astigmatismus gegen die Regel, AOBL = Astigmatismus obliquus			

**Tabelle 2-2 Darstellung der Punkteverteilung in Minuszylinderschreibweise zur Bildung von Astigmatismus-Score entsprechend der Zylindersärke und der Achslage [16]**

Um eine patientenrelevante Bewertung der Operationswirkung zu ermöglichen, wurde einerseits der refraktive Astigmatismuswert in Betracht gezogen und andererseits wurde mithilfe der „Score“-Skala [16] der Astigmatismus-Score aus den jeweils letzten prä- und postoperativen Refraktionswerten des Zylinders und der Achse gebildet. Dadurch ist eine realitätsnahe Beurteilung der Brillenanpassbarkeit, bzw. der Verträglichkeit einer Brille gewährleistet.

Anhand des folgenden Beispiels wird die Methode veranschaulicht:

#### **Präoperative Astigmatismuswerte:**

Zyl -5,0 D in Achse 40°, entspricht 16 Punkten auf der „Score“-Skala

#### **Induzierte Astigmatismusänderung:**

**Fall I:** der Zylinder wurde um -1,0 D reduziert, die Achse bleibt unverändert

Zyl -4,0 D in Achse 40°, entspricht 13 Punkten (3 Punkte Reduktion)

**Fall II:** der Zylinder bleibt gleich und die Achse wurde günstig gedreht

Zyl -5,0 D in Achse 0°, entspricht 14 Punkten (2 Punkte Reduktion)

**Fall III:** der Zylinderwert wurde um -1,0 D reduziert und die Achse wurde günstig gedreht

Zyl -4,0 D in Achse 0°, entspricht 11 Punkten (5 Punkte Reduktion)

Wie in den Fallbeispielen zu erkennen ist, besteht für den Operateur die Herausforderung, die Schnitte patientenspezifisch und effizient zu legen, um dadurch beide maßgebenden Faktoren günstig zu beeinflussen. Eine günstige Achse soll beibehalten werden, andernfalls gezielt anhand der T-Cuts gedreht werden.

### **2.6.3 Objektiver Operationserfolg**

Es gibt unterschiedliche statistische Methoden, um die Astigmatismusänderung, induziert durch den refraktiven Eingriff objektiv zu bewerten.

Dafür wurden in der Literatur am häufigsten zwei Verfahren angewandt. Bewertet wurde die Änderung anhand des keratometrischen Netto-Zylinderwertes und die vektorielle Änderung, berechnet aus der Kombination von Zylinder und Achse.

Um vergleichbare Werte zu gewinnen, bediente sich die Datenauswertung in dieser Arbeit auch dieser zwei Methoden. Gebildet wurde die Differenz der jeweils letzten prä- und postoperativen keratometrischen Netto-Zylinderwerte, um die induzierte Änderung des Netto-Zylinderwertes abzuschätzen. Mithilfe der Vektoranalyse wurde die keratometrische Änderung des Astigmatismuswertes aus der Kombination von Zylinder und Achse errechnet. Hierbei entspricht die Länge des Vektors der Zylinderstärke und der Ausrichtung der Zylinderachse [16].

Für die Bewertung der induzierten keratometrischen Astigmatismusänderung durch die T-Cut-Operation, wurde auch der keratometrische Zylinderwert und die Achse als Astigmatismus-Score [16] herangezogen.

Für die Bewertung der Stabilität des Operationsergebnisses wurde die lineare Regression angewandt. Hierbei wurde für jeden Patienten eine lineare Ausgleichsgerade durch die Keratometrie-Werte, welche gegen die Zeit aufgetragen wurden, gelegt. Die Steigungen dieser Geraden sind ein Maß für die langfristige Stabilität der Keratometrie-Messwerte.

Die Änderung der patientenrelevanten Sehschärfe als Maß des Operationserfolges und des irregulären Astigmatismusanteils als Sicherheitsaspekt wurde überprüft.



## **Zusammenfassung der Astigmatismusanalysen**

Die Astigmatismusänderung wurde für die Brillenwerte, für die subjektiv empfundene Beeinträchtigung durch den Astigmatismus (den refraktiven Astigmatismus-Score), anhand der Änderung des sphärischen Äquivalents und mittels der vektoriell berechneten Änderung der Gesamtrefraktion ausgewertet. Als objektiver Beweis der subjektiven Ergebnisse wurden auch die keratometrischen Werte analysiert, darunter die Netto-Keratometrie und die vektorielle keratometrische Gesamtänderung und schließlich wurde der realitätsnahe keratometrische Astigmatismus-Score beurteilt. Der Score wurde deskriptiv ausgewertet.

### **2.6.4 Fragebogen**

Entwickelt wurde der Fragebogen NEI VFQ-25 (National Eye Institute Visual Functioning Questionnaire USA), um die Auswirkung visueller Funktionsstörungen auf die Lebensqualität zu erfassen [23]. Der empfundene Nutzen wurde anhand einer Punktwertung gemessen und kann Werte, von Minimum 0 über 25, 50, 75 bis Maximum 100, entsprechend dem Grad des subjektiv empfundenen Operationserfolges annehmen.

Die Auswertung der Fragebögen wurde entsprechend der von den Entwicklern empfohlen Weise durchgeführt.

Es wurde die multiple Regression angewandt, um Vorhersagen über Veränderungen zu unterstützen und um den Einfluss der T-Cut-Operation auf den subjektiv empfundenen Jetzt-Zustand der Patienten zu überprüfen. Dieses Vorgehen soll der zukünftigen Patientenberatung sowie dem Planen und der Durchführung der T-Cut-Operation zur Ergebnisverbesserung dienen, wenn sich präoperativ bestimmbar Einflussfaktoren auf den langfristigen Operationserfolg abzeichnen. Grundsätzlich wurden die Patienten zur Auswertung herangezogen, deren Daten für die jeweilige Analyse vorhanden waren.

### **2.6.5 Deskriptive Methoden**

Für die deskriptiven Analysen wurden Mittelwerte, Mediane, obere und untere Quartile, sowie Extremwerte ermittelt. Zusätzlich wurden Histogramme erstellt.

### 3 Ergebnisse und Analyse

#### 3.1 Darstellung der Ergebnisse aller Messmethoden

Die Ergebnisse der verwendeten Tests wurden mit dem Statistikprogramm „R“. Es wurde in mehreren Schritten eine Analyse der einzelnen Einflussfaktoren durchgeführt. Eine Zusammenfassung der ermittelten Ergebnisse stellt die Tabelle 3-1 dar.

Induzierte Änderung durch die T-Cut-Operation				
Induzierte Änderung	subjektiv		objektiv	
	Mittelwert	Median	Mittelwert	Median
Zeilengewinn auf ETDRS-Tafel Visus cc	2	2	-	-
Zeilengewinn auf ETDRS-Tafel Visus sc*	2	2	-	-
Astigmatismus-Score	2	2	5	2
Netto-Zylinderwert [D]	1,40	1,50	3,31	3,30
Vektorielle keratometrische Astigmatismusänderung [D]	-	-	5,20	4,90
Vektorielle Änderung der Gesamtrefraktion [D]	6,35	6,08	-	-
Änderung des sphärischen Äquivalentes [D]	2,45	2,35	-	-
Zunahme des irregulären Astigmatismusanteil [D]	-	-	0,94	0,60
Langzeitstabilität des keratometrischen Astigmatismus [D]/Jahr			-1,50	0,30
* Die Analyse bezieht sich auf die Ergebnisse von 5 der 41 Patienten				

**Tabelle 3-1 Übersicht über die induzierte Änderung durch die T-Cut-Operation innerhalb der untersuchten Patientengruppe**

Die folgenden Histogramme (Abb. 3.2-1 bis Abb. 3.8-6) stellen graphisch die Häufigkeitsverteilung der Patientenergebnisse dar.

### 3.2 Nachbeobachtungszeit

Insgesamt wurden 41 Patienten durchschnittlich 3,3 Jahre (Spannweite: 1 Tag bis 9,2 Jahre) nach den T-Cuts beobachtet. Eine relativ kurze Nachbeobachtungszeit - von einem Tag bis 1,4 Jahre und von 1,4 bis 2,7 Jahre - war bei 21 Patienten (51,2 %) zu verzeichnen. In 13 Fällen (31,7 %) betrug die Nachbeobachtungszeit 2,7 bis 5,5 Jahre. Bei 7 von 41 Patienten (17 %) lag die Beobachtungsdauer sogar bei 5,5 und 9,2 Jahren (Abb. 3.2-1).

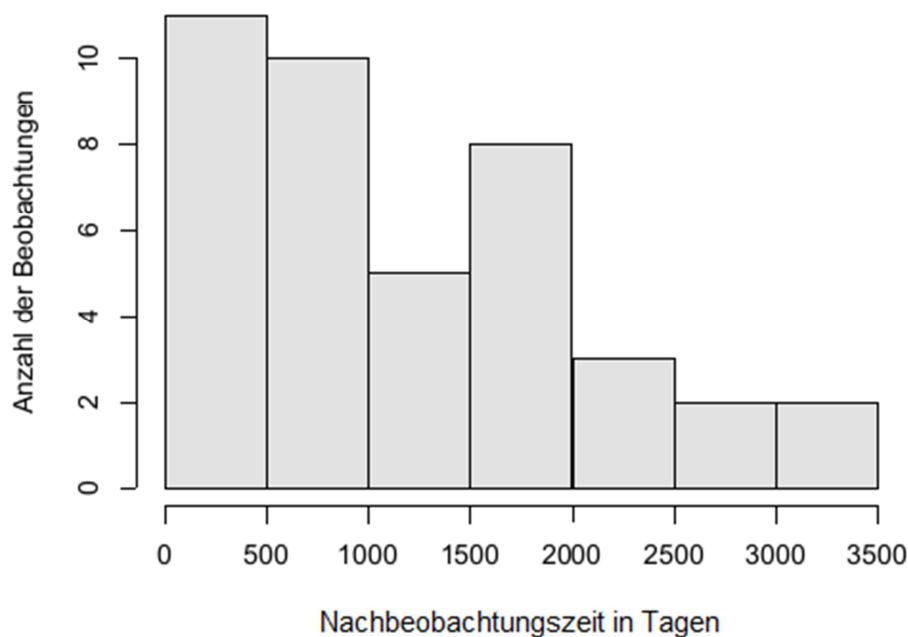


Abb. 3.2-1 Häufigkeitsverteilung der Nachbeobachtungszeit von 41 Patienten in Tagen

### 3.3 Langzeitstabilität Keratometrie

Die mittlere Beobachtungsdauer betrug 3,3 Jahre (Spannweite: 1 Tag bis 9,2 Jahre). In diesem Zeitraum wurden im Mittel 4 keratometrische Messwerte (Min. / Max.: 2 / 14) erhoben. Die Langzeitstabilität des keratometrischen Netto-Zylinders wurde mittels linearer Regression bei 33 von 41 Patienten (80,5 %) ermittelt. Hierbei wurde für jeden Patienten eine lineare Ausgleichsgrade durch die Keratometrie-Werte, welche gegen die Zeit aufgetragen wurden, gelegt. Die Steigungen dieser Geraden sind ein Maß für die langfristige Stabilität der keratometrischen Messwerte. Aufgrund der sehr kurzen Nachbeobachtungszeit von manchen Patienten kam es zu „Ausreißern“. Diese Extremwerte können den Mittelwert möglicherweise stark beeinflussen. Aus diesem Grund erweist sich der Median als geeigneter.

Der keratometrische Netto-Zylinderwert nahm im Median um 0,30 D im Betrag pro Jahr zu (erstes / drittes Quartil: -0,71 / 31,1 D). Mit der Wahl einer linearen Regressionsanalyse wurde ein lineares Verhalten des objektiven Messwertes vorausgesetzt.

Unter dieser Bedingung und unter Berücksichtigung des Ergebnisses von 0,30 D im Median, ist eine Zunahme des keratometrischen Zylinderwertes in 10 Jahren von 3,0 D im Betrag zu erwarten, diese könnte aber auch sättigen und die Stabilität wäre höher.

Nach 31 von 33 T-Cut-Operationen (94 %) schwankte der keratometrische Zylinderwert um 0 D. In 15 dieser Fälle wurde eine Astigmatismuszunahme pro Jahr berechnet und in 16 Fällen wurde eine Astigmatismusreduktion rechnerisch festgestellt (Abb. 3.3-1).

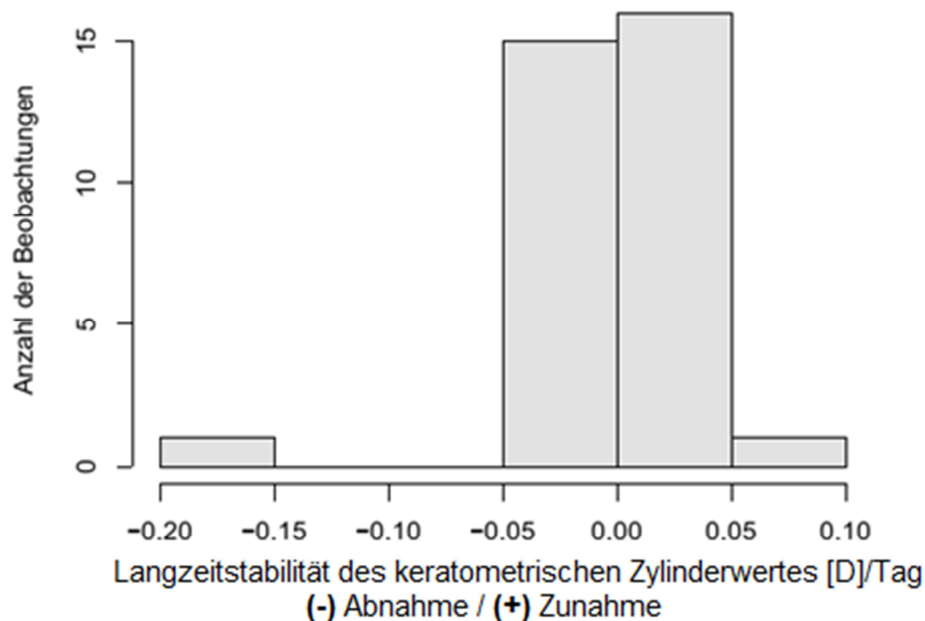


Abb. 3.3-1 Häufigkeitsverteilung der Langzeitstabilität des keratometrischen Zylinderwertes von 33 Patienten in Dioptrien pro Tag

### **3.4 Bewertung des Astigmatismus**

#### **3.4.1 Mithilfe des Netto-Zylinderwertes**

##### **Keratometrischer Netto-Zylinder**

Um den Effekt der T-Cuts zu objektivieren, wurden jeweils die letzten prä- und postoperativen keratometrischen Netto-Zylinderwerte in Betracht gezogen. Diese Daten lagen präoperativ bei 41 von 41 Patienten vor (100 %). Der Netto-Zylinderwert betrug im Median -9,20 D (erstes / drittes Quartil: -11,30 / -7,48 D). Postoperativ waren die Daten bei 40 von 41 untersuchten T-Cut-Operationen vorhanden (97,6 %). Hier betrug der Netto-Zylinderwert im Median -5,50 D (erstes / drittes Quartil: -7,97 / -3,72 D). Eine Reduzierung im Betrag des durchschnittlichen Netto-Zylinders um 3,31 D und im Median um 3,30 D wurde erreicht.

##### **Refraktiver Netto-Zylinder**

Um die Auswirkung der T-Cut-Operation als eine refraktive Maßnahme zur Reduktion des Hornhautastigmatismus, auf die patientenrelevante Brillenanpassbarkeit zu beurteilen, wurden jeweils die letzten prä- und postoperativen refraktiven Netto-Zylinder in Betracht gezogen. Diese Daten lagen präoperativ bei 38 von 41 Patienten vor (92,7 %). Der Netto-Zylinderwert betrug im Median -6,87 D (erstes / drittes Quartil: -10,0 / -5,50 D). Postoperativ waren die Daten von 39 von 41 untersuchten T-Cut-Operationen vorhanden (95 %). Hier betrug der Netto-Zylinderwert im Median -6,0 D (erstes / drittes Quartil: -7,50 / -3,37 D). Es wurde eine Reduzierung des durchschnittlichen Netto-Zylinderbetrags um 1,40 D und im Median um 1,50 D erreicht.

#### **3.4.2 Mithilfe des Astigmatismus-Scores**

##### **Keratometrischer Astigmatismus-Score**

Um eine objektive Bewertung der Operationswirkung zu ermöglichen wurde der prä- und postoperative Astigmatismus-Score mithilfe der Score-Skala aus den jeweils letzten prä- und postoperative keratometrischen Werten des Zylinders und der Achse gebildet.

Der präoperative Astigmatismus-Score wurde bei 41 Patienten gebildet (100 %) und betrug im Median 21 Punkte (erstes / drittes Quartil: 21 / 22 Punkte). Der

postoperative Astigmatismus-Score wurde bei 40 der Operierten gebildet (97,6 %) und betrug im Median 18 Punkte (erstes / drittes Quartil: 12 / 21 Punkte). Es wurde eine Reduzierung um 5 Punkte des durchschnittlichen Astigmatismus-Scores und um 2 Punkte im Median erreicht.

### **Refraktiver Astigmatismus-Score**

Um eine patientenrelevante Bewertung der Operationswirkung zu ermöglichen, wurde einerseits der refraktive Astigmatismuswert in Betracht gezogen und andererseits wurde mithilfe der „Score“-Skala [16] der Astigmatismus-Score aus den jeweils letzten prä- und postoperativen Refraktionswerten des Zylinders und der Asche gebildet. Dadurch ist eine realitätsnahe Beurteilung der Brillenanpassbarkeit, bzw. der Verträglichkeit einer Brille gewährleistet.

Der präoperative Astigmatismus-Score wurde bei 36 Patienten (88 %) gebildet und betrug im Median 21 Punkte (erstes / drittes Quartil: 18 / 21 Punkte).

Der postoperative Astigmatismus-Score wurde bei 38 Patienten (92,7 %) gebildet und betrug im Median 19 Punkte (erstes / drittes Quartil: 13 / 22 Punkte).

Es wurde eine Reduzierung um 2 Punkte des durchschnittlichen Astigmatismus-Scores und im Median erreicht.

## **3.5 Berechnung der induzierten Änderung**

### **Keratometrie vs. Refraktion**

Die Abb. 3.5-1 bis Abb. 3.5-6 stellen die Häufigkeitsverteilungen der keratometrischen vs. refraktiven Astigmatismusänderung dar. Die Astigmatismusänderung wurde für die Netto-Keratometrie, die vektoriell berechnete Änderung des keratometrischen Astigmatismus, für die Brillenwerte und schließlich auch für die subjektiv empfundene Beeinträchtigung durch den Astigmatismus-Score vs. den objektiven Astigmatismus-Score getrennt ausgewertet. Der Operationseffekt wurde auch anhand der Änderung des sphärischen Äquivalents beurteilt.

### 3.5.1 Aus der Differenz der Zylinderwerte

#### Keratometrischer Zylinderwert

Um vergleichbare Ergebnisse zu gewinnen, wurde der Effekt der T-Cut-Operation objektiv bewertet. Hierbei wurde die Differenz der jeweils letzten prä- und postoperativen keratometrischen Netto-Zylinderwerte berechnet. Diese Daten waren bei 40 von 41 Operierten vorhanden (97,6 %). Der keratometrische Netto-Zylinderwert nahm im Median um 3,30 D im Betrag ab (erstes / drittes Quartil: 0,57 / 5,91 D).

Bei der Mehrheit, 33 (83 %) der untersuchten Augen, wurde eine Verbesserung des keratometrischen Astigmatismus festgestellt. Bei 20 dieser Augen (50 %) nahm der keratometrische Zylinderwert um bis zu 5,0 D im Betrag und bei weiteren 10 Beobachtungen (25 %) sogar um bis zu 10,0 D und in 3 Fällen um bis zu 15,0 D ab.

Eine Zunahme wurde nur bei 7 der operierten Augen (18 %) beobachtet. Bei 6 dieser Augen (15 %) nahm der keratometrische Zylinderwert um bis zu -5,0 D zu. Nur nach einer Operation nahm der keratometrische Zylinder um -12,0 D zu (Abb. 3.5-1).

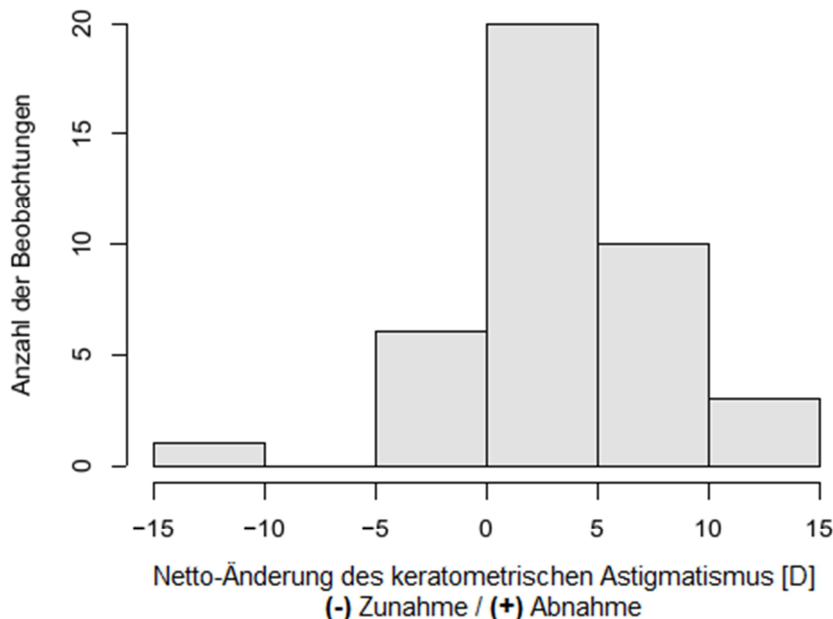


Abb. 3.5-1 Häufigkeitsverteilung der durch die T-Cut-Operation induzierten Änderung des keratometrischen Netto-Zylinderwertes von 40 Patienten in Dioptrien

## Refraktiver Zylinderwert

Um die subjektive Auswirkung der Entlastungsschnitte auf die Brillenanpassbarkeit, bzw. auf die Brillenverträglichkeit zu beurteilen, wurde die Differenz der jeweils letzten prä- und postoperativen refraktiven Netto-Zylinder berechnet. Diese Daten lagen bei 36 von 41 der Beobachtungen (88 %) vor. Eine Abnahme des refraktiven ermittelten Zylinderwertes im Median um 1,50 D im Betrag (erstes / drittes Quartil: -1,25 / 4,12 D) wurde festgestellt.

Bei der Mehrheit, 23 (64 %) der untersuchten Augen, wurde eine Reduktion des refraktiven Astigmatismus festgestellt. Bei 15 dieser Augen (42 %) nahm der refraktive Zylinderwert im Betrag um bis zu 5,0 D ab. In einem Fall nahm der Wert sogar um 11,0 D ab.

Eine Erhöhung wurde nur bei 13 der refraktionierten Augen (36 %) beobachtet. Bei 10 dieser Augen (28 %) nahm der refraktive Zylinderwert um bis zu -5,0 D zu. Nur in einem Fall nahm der refraktive Zylinder um -12,0 D zu (Abb. 3.5-2).

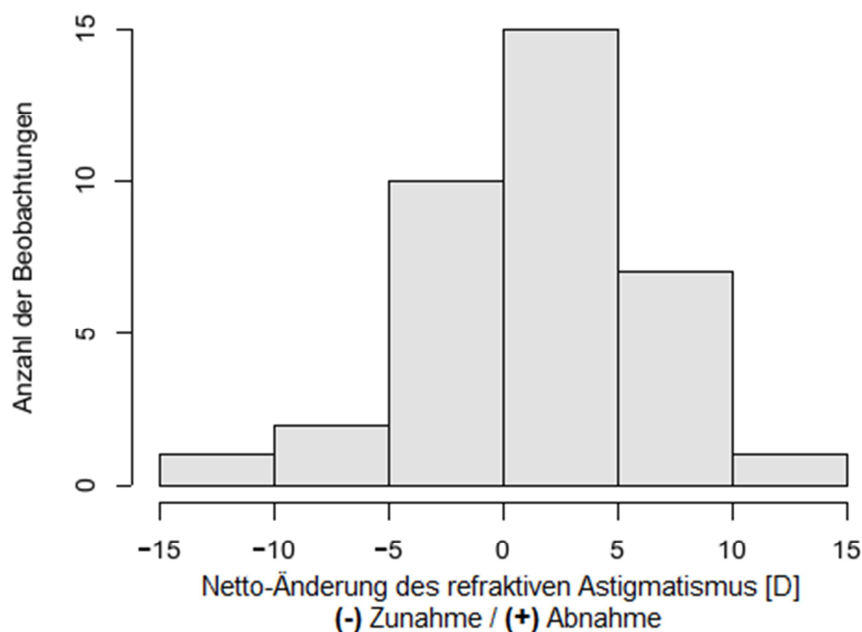


Abb. 3.5-2 Häufigkeitsverteilung der durch die T-Cut-Operation induzierten Änderung des refraktiven Netto-Zylinderwertes von 36 Patienten in Dioptrien



### 3.5.2 Mithilfe der Vektoranalyse

#### Vektorielle Gesamtänderung des keratometrischen Astigmatismus

Die Änderung des keratometrischen Astigmatismus wurde mittels Vektoranalyse bei 40 von 41 Patienten (97,6 %) ausgewertet. Hierfür wurde jeweils die letzte prä- und postoperative keratometrische Zylinderstärke und Achsenlage als Vektor dargestellt. Die Länge des Vektors entspricht der Stärke und seine Ausrichtung der Achse des Zylinders. Der Effekt der T-Cut-Operation wurde aus der Differenz beider Vektoren berechnet, die der Länge des Differenzvektors entspricht. Eine Änderung des keratometrischen Astigmatismus wurde bei allen Patienten festgestellt, im Median 4,90 D (erstes / drittes Quartil: 3,27 / 6,42 D).

Nach 13 T-Cut-Operationen (32,5 %) wurde eine Veränderung von 0,80 bis 4,0 D beobachtet. In 15 weiteren Augen (37,5 %) wurde die Differenz auf 4 bis 6 D beschränkt. Bei insgesamt 12 Personen (30 %) nahm die Änderung einen Wert zwischen 6,0 und 10,90 D an (Abb. 3.5-3).

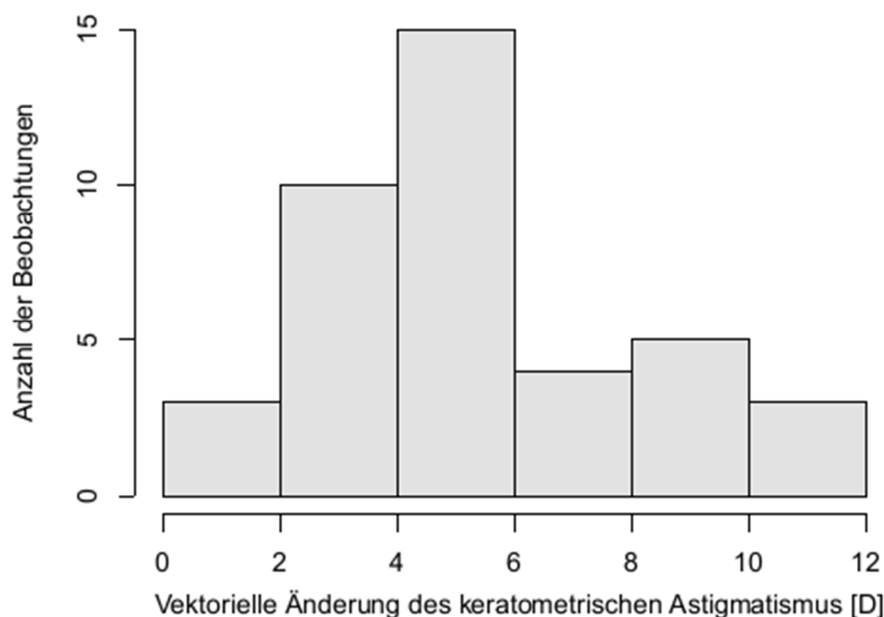


Abb. 3.5-3 Häufigkeitsverteilung der vektoriellen Änderung des keratometrischen Astigmatismus durch die T-Cut-Operation von 40 Patienten in Dioptrien

## Vektorielle Änderung der Gesamtrefraktion

Die Änderung der Gesamtrefraktion wurde mittels Vektoranalyse bei 36 von 41 Patienten (88 %) ausgewertet. Hierbei wurden die letzten prä- und postoperativen Werte der refraktiven Sphäre sowie des Zylinders in Kombination mit dessen Achsenlage jeweils als Vektor dargestellt. Die Länge des Vektors entspricht der Stärke der Sphäre bzw. des Zylinders und seine Ausrichtung der Achse des Zylinders. Die Auswirkung der T-Cut-Operation auf die Brillenanpassung als Gesamtänderung, wurde aus der Differenz der drei Vektoren berechnet.

Eine Änderung der Gesamtrefraktion wurde bei allen Patienten festgestellt, im Median 6,10 D (erstes / drittes Quartil: 4,0 / 8,0 D). Jeweils bei 8 Patienten (22 %) beschränkte sich die Veränderung auf 4,0 bzw. auf 6,0 D. Am häufigsten, nämlich bei 10 der beobachteten Augen (25,6 %), war eine Änderung um 6,0 bis 8,0 D zu verzeichnen. Bei jeweils 4 Personen (11,1 %) nahm die Differenz einen Wert von 8,0 bis 12,0 D an. Das Minimum von 1,20 D und Maximum von 13,90 D an Gesamtänderung wurde jeweils bei einem Patient (2,8 %) festgestellt (Abb. 3.5-4).

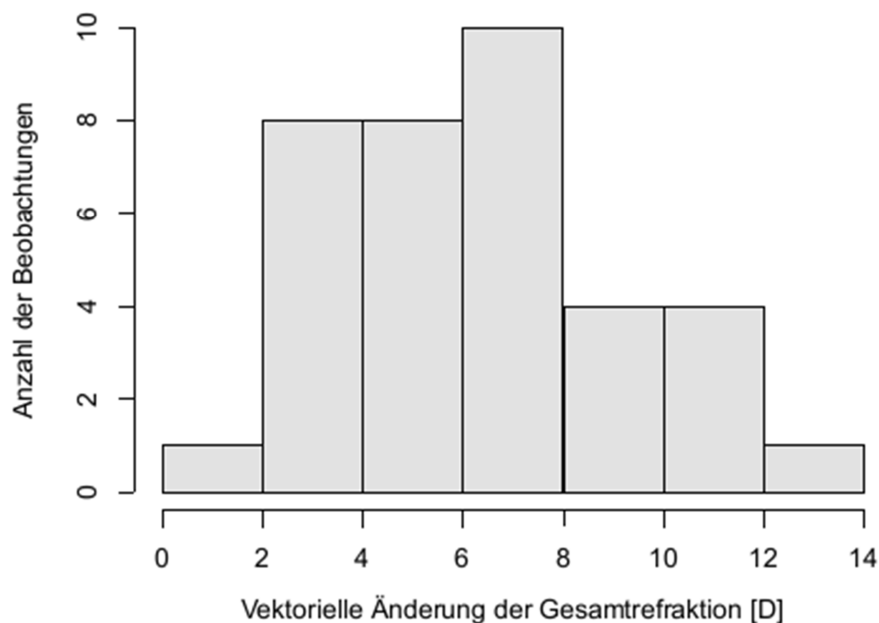


Abb. 3.5-4 Häufigkeitsverteilung der vektoriellen Änderung der Gesamtrefraktion durch die T-Cut-Operation von 36 Patienten in Dioptrien

### 3.5.3 Aus der Differenz des Astigmatismus-Scores

#### Änderung des keratometrischen Astigmatismus-Scores

Um die optische Abbildungsqualität und die Anpassbarkeit der Brille aus der messbaren Reduktion des Zylinderwertes abschätzen zu können, wurde der Astigmatismus-Score mithilfe der Score-Skala aus dem keratometrischen Zylinder und seiner Achse berechnet. Anschließend wurde die Verbesserung bei 40 von 41 Patienten (97,6 %) aus der Differenz des prä- und postoperativen Astigmatismus-Scores ermittelt. Die Analyse ergab eine objektive Verbesserung um 2 Punkte im Median (erstes / drittes Quartil: 0 / 9 Punkte).

Bei der Mehrheit der untersuchten Augen, 24 von 40 Patienten (60 %), war eine Verbesserung des refraktiven Astigmatismus-Scores zu verzeichnen. Der entsprechende Score nahm bei 10 dieser untersuchten Augen (25 %) um 5 bis 10 Punkte ab und in 7 Fällen (17,5 %) ist er sogar um 10 bis 20 Punkte gesunken. Nach 16 Operationen (40 %) wurde durch die T-Cuts keine Verbesserung des Astigmatismus-Scores erreicht. Bei 15 dieser beobachteten Augen (37,5 %) nahm der entsprechende Score um max. -5 Punkte zu und nur in einem Fall erhöhte sich der Astigmatismus-Score sogar um -9 Punkte (Abb. 3.5-5).

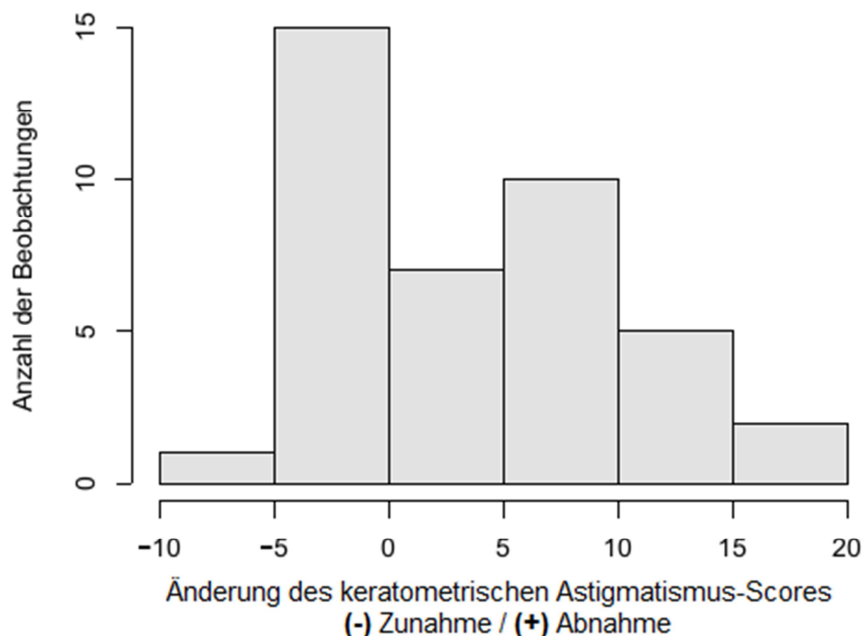


Abb. 3.5-5 Häufigkeitsverteilung der Änderung des keratometrischen Astigmatismus-Scores durch die T-Cut Operation von 40 Patienten in Punkten

## Änderung des refraktiven Astigmatismus-Scores

Um die Auswirkung der Entlastungsschnitte patientenrelevant zu analysieren, wurde anhand der Brillenwerte die empfundene Änderung des Astigmatismus-Scores auf der Score-Skala errechnet. Hierbei wurde bei 34 von 41 Patienten (83 %) die Differenz des jeweils letzten refraktiven prä- und postoperativen Astigmatismus-Scores gebildet. Die Analyse ergab eine Verbesserung um 2 Punkte im Median (erstes / drittes Quartil: -1 / 6 Punkte). Die Mehrheit der Refraktionen, 18 von 34 der operierten Augen (53 %), zeichnete sich durch eine Verbesserung des refraktiven Astigmatismus-Scores durch den T-Cut Eingriff aus. Bei 14 dieser Beobachtungen (41,2 %) nahm der entsprechende Score um max. 10 Punkte ab und in einem Fall sogar um 20 Punkte. Bei 16 T-Cut-Operationen (47 %) wurde durch die Entlastungsschnitte keine Verbesserung des refraktiven Astigmatismus-Scores erreicht. Bei 13 dieser untersuchten Augen (38 %) nahm der entsprechende Score um max. -5 Punkte zu und nur in einem Fall wurde eine Zunahme um -18 Punkte festgestellt (Abb. 3.5-6).

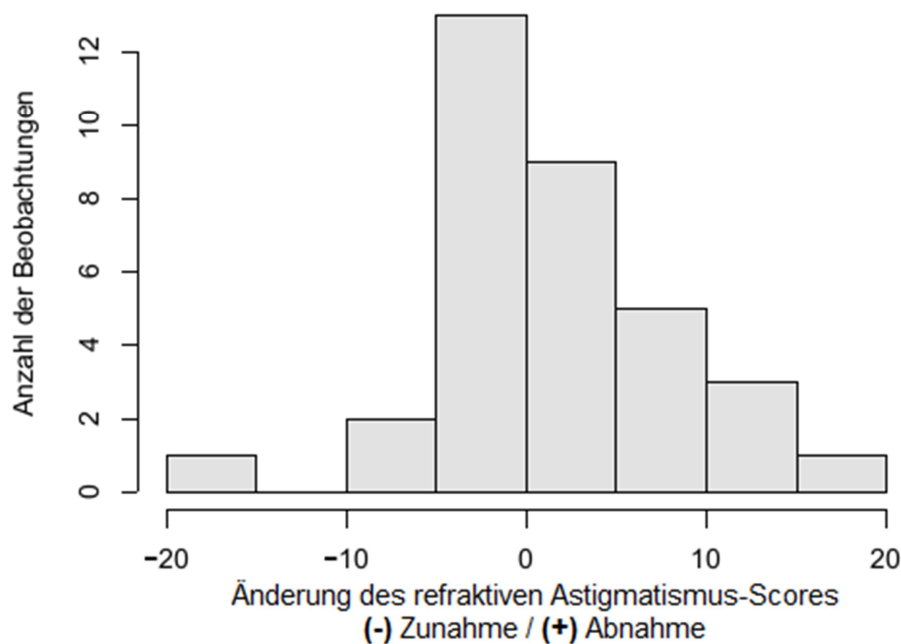


Abb. 3.5-6 Häufigkeitsverteilung der Änderung des refraktiven Astigmatismus-Scores von 34 Patienten durch die T-Cut-Operation in Punkten

## 3.6 Irregularität

Um das Ausmaß des induzierten irregulären Astigmatismus durch die T-Cut-Operation festzustellen, wurde der jeweils letzte prä- und postoperative keratometrische Irregularitätswert in Betracht gezogen. Präoperativ lagen diese

Daten bei 37 von 41 Patienten (90,2 %) vor. Im Median betrug der präoperative Irregularitätswert  $\pm 4,70$  D (erstes / drittes Quartil:  $\pm 3,30$  /  $\pm 5,50$  D). Postoperativ waren 34 von 41 Datenangaben (83 %) vorhanden. Im Median betrug der postoperative Irregularitätswert  $\pm 5,75$  D (erstes / drittes Quartil:  $\pm 4,10$  /  $\pm 7,48$  D).

### 3.6.1 Änderung des Irregularitätsindex

Um die Änderung des irregulären Astigmatismus durch die T-Cut-Operation abzuschätzen, wurde die Differenz der jeweils letzten prä- und postoperativen keratometrischen Irregularitätswerte berechnet. Diese Daten lagen bei 34 der 41 untersuchten T-Cut-Operationen vor (83 %). Die Irregularität nahm im Median um nur 0,60 D zu (erstes / drittes Quartil: 0,025 / 2,20 D).

Nach 9 T-Cut-Operationen (26,5 %) ist es zu einer Verbesserung der Irregularität gekommen und nach 25 Eingriffen (73,5 %) wurde keine Veränderung bzw. eine Zunahme des Irregularitätsindex beobachtet. Bei 15 dieser Augen (44 %) war die Zunahme auf max. 2,0 D beschränkt. Bei 8 der 34 beobachteten Augen (23,5 %) war eine Irregularitätserhöhung um 2,0 bis 6,0 D zu verzeichnen. In zwei Fällen (6 %) erhöhte sich der Irregularitätsindex sogar um bis zu 8,0 D (Abb. 3.6-1).

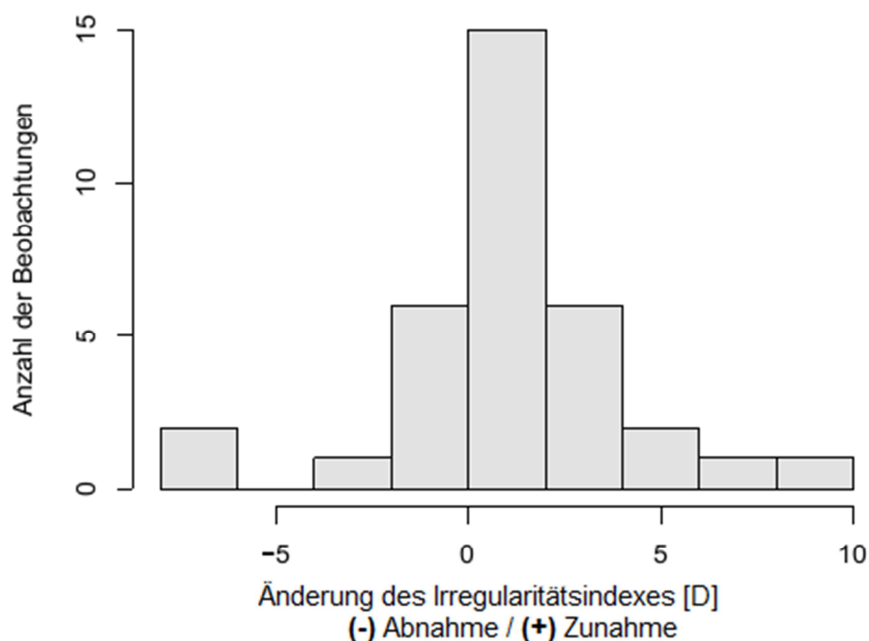


Abb. 3.6-1 Häufigkeitsverteilung der Änderung des Irregularitätsindex von 34 Patienten durch die T-Cut-Operation in Dioptrien

### 3.7 Das sphärische Äquivalent

Berechnet wurde das sphärische Äquivalent, um den Einfluss der Operation auf die Gesamtrefraktion zu analysieren. Hierbei wurde von 38 Patienten (93 %) der präoperative Wert mit dem postoperativen Ergebnis verglichen.

Vor der Operation betrug das sphärische Äquivalent -2,0 D im Median (erstes / drittes Quartil: -4,15 / -0,28 D) (Abb. 3.7-1).

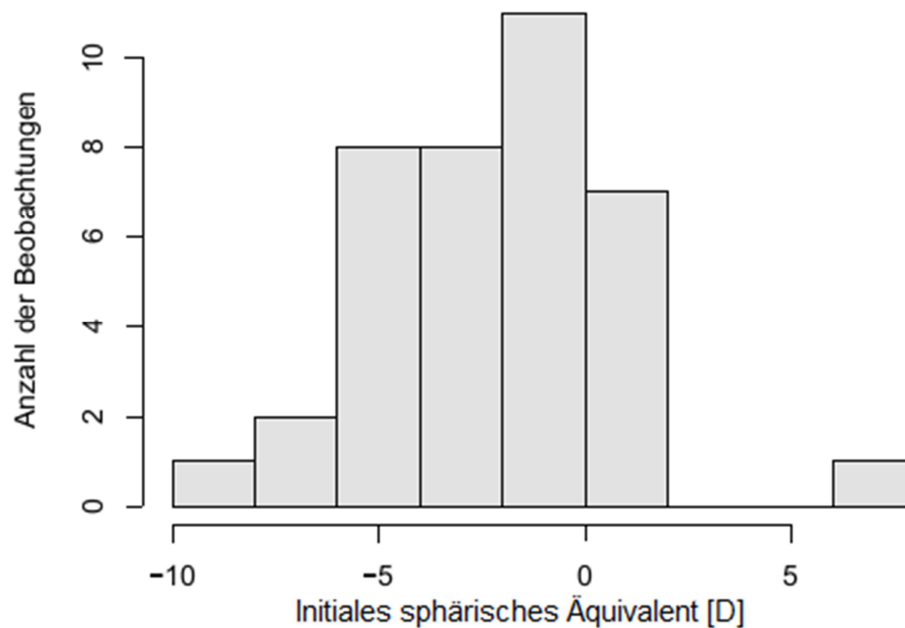


Abb. 3.7-1 Häufigkeitsverteilung des initialen sphärischen Äquivalentes von 38 Patienten in Dioptrien

Durch den Eingriff wurde der Wert auf -0,25 D im Median (erstes / drittes Quartil: -1,43 / 1,43 D) und damit deutlich reduziert. Durch die Reduktion des Hornhautastigmatismus wurde eine abnehmende Myopisierung, bzw. eine relative Hyoperopisierung anhand des sphärischen Äquivalentes beobachtet (Abb. 3.7-2).

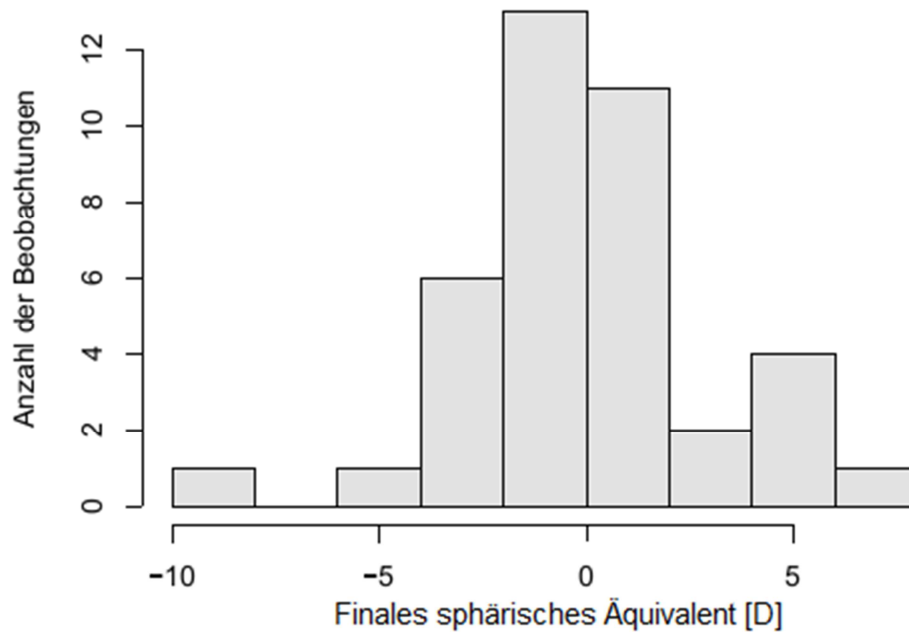


Abb. 3.7-2 Häufigkeitsverteilung des finalen sphärischen Äquivalentes von 39 Patienten in Dioptrien

## 3.8 Visus

### 3.8.1 Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur

Analysiert wurde der jeweils letzte prä- und postoperative monokulare Fernvisus mit der bestmöglichen Brillenkorrektur, um die Wirkung der Entlastungsschnitte auf die patientenrelevante Sehschärfe zu beurteilen.

Präoperativ lagen bei 41 Patienten (100 %) Daten vor. Im Median betrug der monokulare Visus 0,3 (erstes / drittes Quartil: 0,2 / 0,5). Die Mehrheit der Patienten erreichte eine Sehschärfe zwischen 0,25 und 0,63 (Abb. 3.8-1).

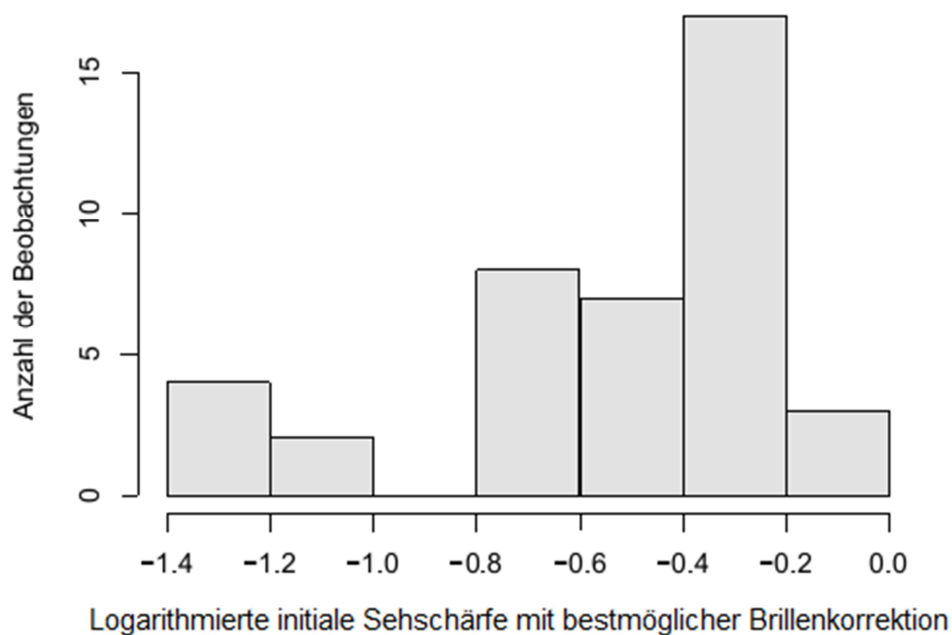


Abb. 3.8-1 Häufigkeitsverteilung der logarithmierten initialen Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur von 41 Patienten in logMAR



Postoperativ wurde der Fernvisus bei 40 von 41 (97,6 %) der operierten Augen erhoben und lag bei 0,50 im Median (erstes / drittes Quartil: 0,3 / 0,8) (Abb. 3.8-2).

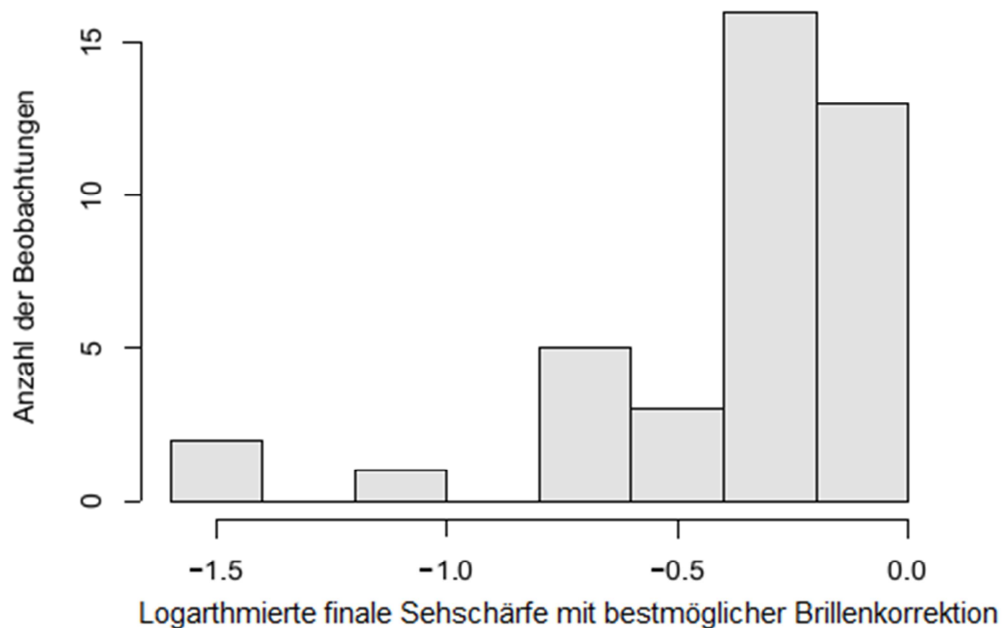


Abb. 3.8-2 Häufigkeitsverteilung der logarithmierten finalen Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur von 40 Patienten in logMAR

### 3.8.2 Zeilengewinn mit bestmöglicher Brillenkorrektur

Beobachtet wurde die Wirkung der Entlastungsschnitte als operativ-refraktive Korrekturmaßnahme auf die patientenrelevante Veränderung der Sehschärfe. Hierbei wurde die Differenz der jeweils prä- und postoperativen dekadisch logarithmierten Sehschärfe mit Bestmöglicher Brillenkorrektur berechnet. Diese Daten lagen gleichzeitig bei 40 von 41 Patienten (97,6 %) vor. Die Sehleistung nahm im Median um 2 Zeilen auf der ETDRS-Visustafel zu (erstes / drittes Quartil: 0 / 4 Zeilen).

Nach 28 Operationen (70 %) wurde mit der bestmöglichen Brillenkorrektur nach den T-Cuts ein Zeilengewinn ermittelt. Bei 22 dieser refraktionierten Augen (55 %) konnten zusätzlich noch bis zu 5 Zeilen richtig gelesen werden. Bei 5 weiteren monokularen Refraktionen (12,5 %) wurden 5 bis 10 Zeilen gewonnen. Einem Patienten (2,5 %) brachte die T-Cut-Operation sogar einen Gewinn von 12 Zeilen.

Nach 12 operativ-refraktiven Hornhauteingriffen mittels Entlastungsschnitten (30 %) wurde kein Zeilengewinn, bzw. ein Zeilenverlust auf der ETDRS-Visustafel festgestellt. Bei 11 dieser refraktionierten Augen (27,5 %), war ein Zeilenverlust um 5

Zeilen zu verzeichnen. Nur in einem Fall nahm die Sehschärfe um 12 Zeilen ab (Abb. 3.8-3).

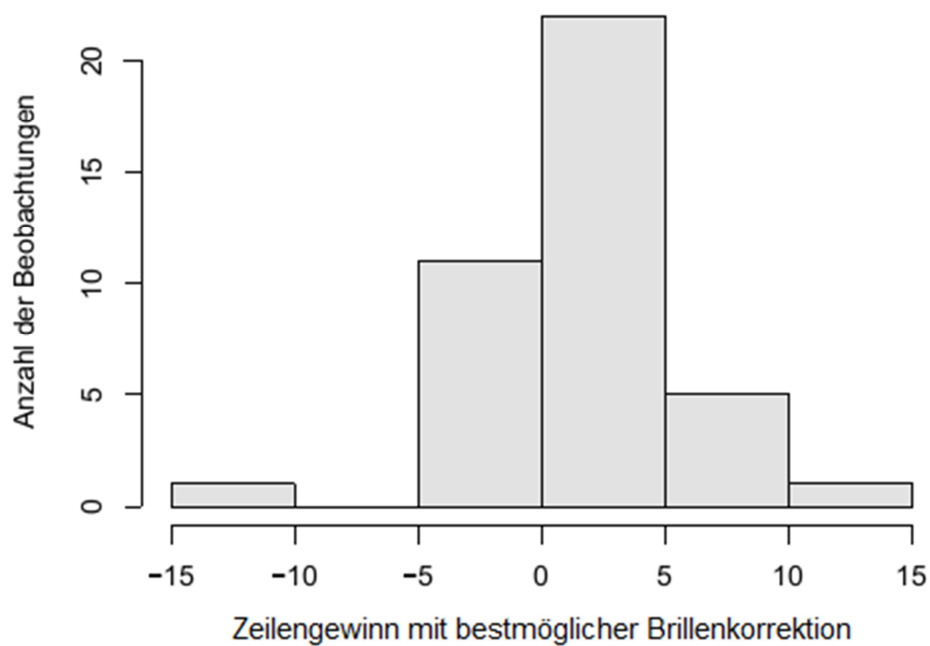


Abb. 3.8-3 Häufigkeitsverteilung des Zeilengewinns durch die T-Cut-Operation ermittelt mit der ETDRS-Visustafel mit der bestmöglichen Brillenkorrektur bei 40 Patienten in Zeilenanzahl

### 3.8.3 Sehschärfe ohne Brillenkorrektion

Analysiert wurde der jeweils letzte prä- und postoperative Fernvisus ohne Brillenkorrektion, um die Auswirkung der T-Cut-Operation als refraktive Korrekturmaßnahme abzuschätzen. Präoperative Daten lagen nur bei 9 von 41 Patienten (22 %) vor. Die unkorrigierte Sehschärfe betrug 0,05 im Median (erstes / drittes Quartil: 0,04 / 0,2) (Abb. 3.8-4).

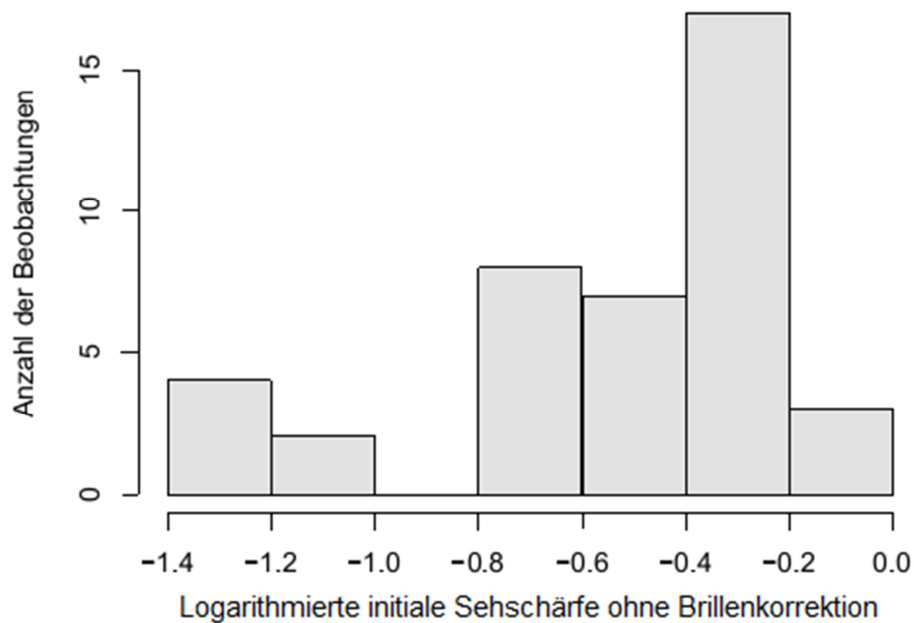


Abb. 3.8-4 Häufigkeitsverteilung der logarithmierten initialen Sehschärfe ohne Brillenkorrektion von 9 Patienten in logMAR

Postoperativ wurde der Fernvisus bei 19 von 41 Patienten (46,3 %) erhoben und lag bei 0,16 im Median (erstes / drittes Quartil: 0,05 / 0,2). Abb. 3.8-5 stellt die Verteilung der Sehschärfe ohne Brillenkorrektur nach dem Eingriff dar. Die Mehrheit der operierten Augen 11 (58 %) erreichte einen Visus zwischen 0,16 und 0,63. 7 dieser 19 Patienten (37 %), erreichten einen Visus zwischen 0,16 und 0,25. In 4 Fällen wurde eine Sehschärfe von 0,25 bis 0,63 gemessen. In 8 von 19 Beobachtungen (42 %) konnte ein Visus ohne Brillenkorrektur von 0,02 bis 0,1 ermittelt werden (Abb. 3.8-5).

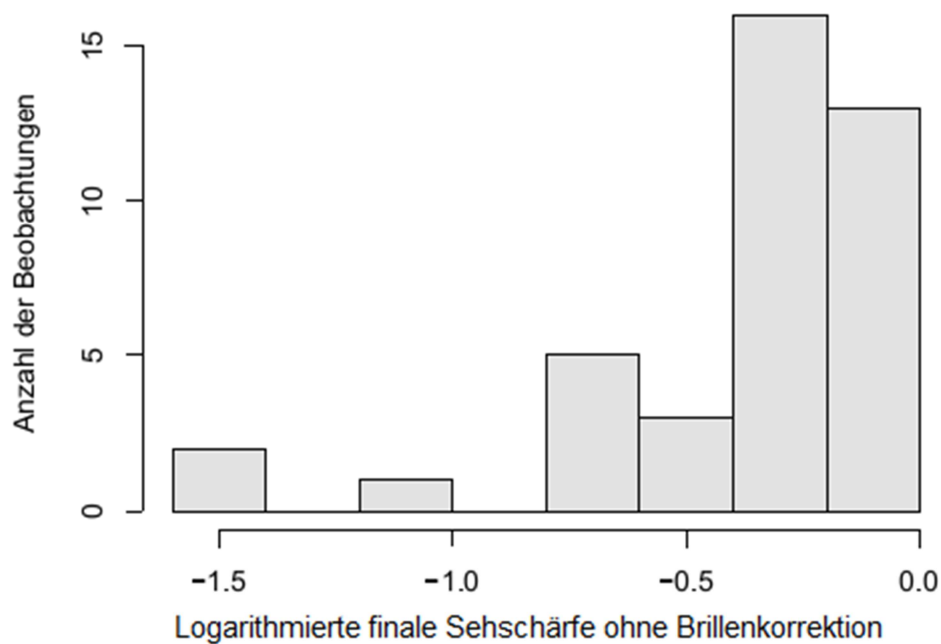


Abb. 3.8-5 Häufigkeitsverteilung der logarithmierten finalen Sehschärfe ohne Brillenkorrektur von 19 Patienten in logMAR

Nur bei 5 von 41 Patienten (12,2 %) waren gleichzeitig die prä- und postoperativen Ergebnisse vorhanden, da die Bestimmung der unkorrigierten Sehschärfe nicht Bestandteil der klinischen Routine ist. Nach den T-Cuts wurde bei 3 Augen eine Zunahme und in 2 Fällen eine Abnahme der unkorrigierten monokular ermittelten Sehschärfe beobachtet.

### 3.8.4 Zeilengewinn ohne Brillenkorrektur

Gebildet wurde die Differenz der prä- und postoperativen dekadischen logarithmierten Sehschärfe ohne Brillenkorrektur, um einen Überblick über den Einfluss der Entlastungsschnitte als refraktive Korrekturmaßnahme zu gewinnen. Nur bei 5 von 41 Patienten (12,2 %) waren gleichzeitig die prä- und postoperativen Daten vorhanden. Nach den T-Cuts konnte eine Änderung der unkorrigierten monokular ermittelten Sehschärfe bei diesen 5 Augen festgestellt werden. Eine Verbesserung auf der ETDRS-Tafel um 2 Zeilen (erstes / drittes Quartil: 0 / 5 Zeilen), im Durchschnitt und im Median wurde bei diesen Patienten festgestellt.

Bei 3 Operationen (7,3 %) wurde ohne Brille nach den T-Cuts ein Zeilengewinn beobachtet. Davon wurden in einem Fall (2,4 %) sogar 5 Zeilen mehr richtig gelesen und bei 2 der geprüften Augen (4,9 %) brachten die T-Cuts sogar einen Gewinn von 5 bis 9 Zeilen. In 2 Fällen (5 %) wurde kein, bzw. ein Zeilenverlust festgestellt. Bei einem Patienten davon lag der Zeilenverlust bei maximal 5 Zeilen und in dem anderen Fall bei 9 Zeilen (Abb. 3.8-6).

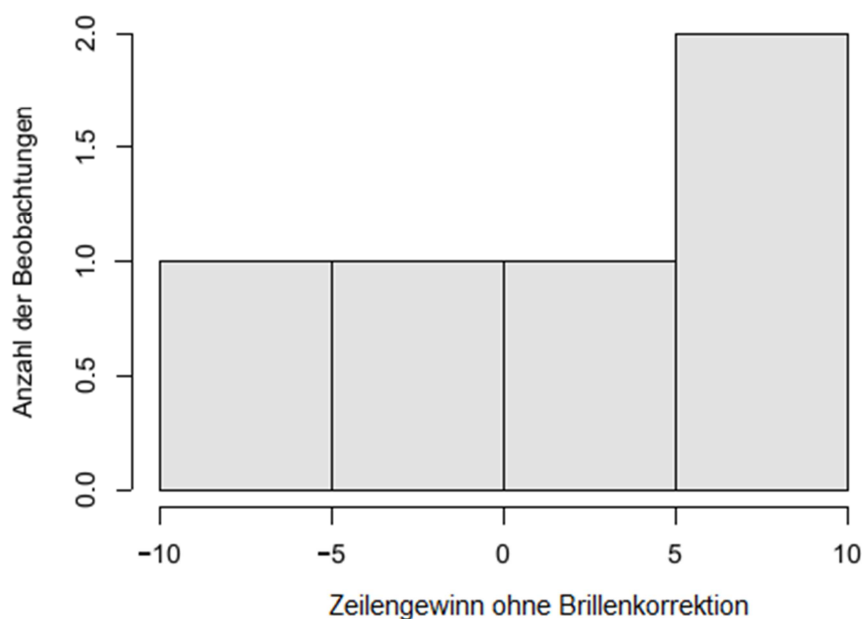


Abb. 3.8-6 Häufigkeitsverteilung des Zeilengewinns von 5 Patienten durch die T-Cut-Operation ermittelt ohne Brillenkorrektur mit der ETDRS-Tafel in Zeilenanzahl

### 3.9 Fragebogenergebnisse

Entwickelt wurde der Fragebogen NEI VFQ-25 (National Eye Institute Visual Functioning Questionnaire USA), um die Auswirkung visueller Funktionsstörungen auf die Lebensqualität zu erfassen [23]. Anhand der Fragebogendimensionen, wurde die subjektive Patientenbeurteilung der Sehschärfe in unterschiedlichen Alltagssituationen ermittelt. Sie dient als Maß des subjektiven Operationserfolgs und sagt über die sehbezogene Lebensqualität des Patienten aus. Der empfundene Nutzen wurde anhand einer Punktwertung gemessen und kann Werte, vom Minimum 0 über 25, 50, 75 bis zum Maximum 100 entsprechend dem Grad des subjektiv empfundenen Erfolges annehmen.

Von 41 Operierten konnten 22 subjektive Bewertungen (56 %) von 11 Männern und 11 Frauen erfasst werden (Tabelle 3-2).

Der Gesundheitszustand im Allgemeinen wurde von den Befragten im Median mit 50 Punkten (erstes / drittes Quartil: 50 / 75 Punkte) bewertet. Bezogen auf ihr visuelles Spezifikum, waren die Patienten mit ihrem Leben mit 60 Punkten (erstes / drittes Quartil: 60 / 80 Punkte) relativ zufrieden. Die Befragten waren im Median mit einem Ergebnis von 100 Punkten (erstes / drittes Quartil: 85 / 100 Punkte) gar nicht auf Fremdhilfe angewiesen und mit 80 Punkten (erstes / drittes Quartil: 57,8 / 91,6 Punkte) waren sie überwiegend psychisch gesund. Auch in ihrem sozialen Umfeld fühlten sich die Befragten mit 100 Punkte im Median (erstes / drittes Quartil: 75 / 100 Punkte) vollwertig. Die sehbezogenen Angaben fluktuieren erheblich und werden in folgenden Unterabschnitten aufgeschlüsselt.

Im Allgemeinen waren die Patienten bezogen auf das Sehen mit 50 Punkten im Median (erstes / drittes Quartil: 50 / 75 Punkte) relativ zufrieden. Das Sehen im Nahbereich wurde überwiegend positiv beeinflusst und im Median mit 79,1 Punkten (erstes / drittes Quartil: 66,6 / 91,6 Punkte) bewertet. Die subjektive Beurteilung des Sehens im Fernbereich deutet mit 75 Punkten im Median (erstes / drittes Quartil: 52 / 89 Punkte) auf eine meist positive Operationsauswirkung hin.

Auch das periphere Sehen wurde mit 75 Punkten im Median (erstes / drittes Quartil: 50 / 100 Punkte) als unproblematisch beurteilt. Die Auswirkung des Operationsergebnisses auf das Autofahren wurde von den Befragten mit 83,3 Punkten (erstes / drittes Quartil: 62,5 / 91,6 Punkte) bewertet.

Die Befragten waren mit 75 Punkten (erstes / drittes Quartil: 65,6 / 100 Punkte) weniger durch sonstige Augenbeschwerden beeinträchtigt.

Fragebogendimension	Anzahl der Befragten	Erstes Quartil / Median / drittes Quartil
Color Vision	22	100 / 100 / 100
Dependency	22	85 / 100 / 100
Distance Activities	22	52 / 75 / 89
Driving	15	62,5 / 83,3 / 91,6
General Health	22	50 / 50 / 75
General Vision	22	60 / 60 / 80
Mental Health	22	57,8 / 81,2 / 87,5
Near Activities	22	66,6 / 79,1 / 91,6
Ocular Pain	22	65,6 / 75 / 100
Peripheral Vision	22	50 / 75 / 100
Role Difficulties	22	56,2 / 87,5 / 100
Social Functioning	22	75 / 100 / 100

**Tabelle 3-2 Patientenbewertung des Operationserfolges anhand der einzelnen Fragebogendimensionen**

### 3.10 Wirksamkeit des Verfahrens

#### Für welchen Patienten ist das Verfahren besonders gut und für welche nicht?

Es wurden logistische Regressionsmodelle gebildet, um ein günstiges postoperatives Ergebnis auf Grundlage von präoperativen Faktoren vorherzusagen. Dies soll der Patientenberatung sowie der Indikationsstellung einer T-Cut-Operation dienen. Zusätzlich wurde nach Hinweisen gesucht, ob die induzierte Änderung durch die T-Cuts, einen Einfluss auf den Jetzt-Zustand und auf die sehbezogene Lebensqualität der Patienten hat.

### 3.10.1 Brillenanpassbarkeit

Gebildet wurde ein Modell, das der Vorhersage von der subjektiven Verbesserung der Brillenanpassbarkeit anhand des Astigmatismus-Scores, aus den präoperativen Werten dienen sollte. Es konnte eine Beziehung zwischen der Operationsauswirkung auf die Verbesserung des refraktiven Astigmatismus-Scores und dem präoperativen irregulären Astigmatismuswert und dem Alter zum Zeitpunkt des Eingriffs als unabhängige Variablen nachgewiesen werden. Es besteht ein Hinweis, dass bei einer hohen Irregularität präoperativ eine ungünstige Auswirkung auf die Brillenanpassbarkeit wahrscheinlich ist ( $p = 0,02$ ) (Tabelle 3-3). Diese Aussage wurde auch objektiv anhand des keratometrischen Astigmatismus-Scores unterstützt. Hier ist nur der Trend zu erkennen, dass sich eventuell eine hohe Irregularität präoperativ als ungünstig für die Brillenanpassbarkeit erweisen kann ( $p = 0,06$ ) (Tabelle 3-4).

Ein weiterer Hinweis ist, dass mit dem Alter die subjektive Verbesserung der Brillenanpassung positiv beeinflusst wird ( $p = 0,02$ ) (Tabelle 3-3).

	Estimate	p-Wert
(Intercept)	-8,04	0,29
Logarithmierter bestkorrigierter Visus präoperativ	-2,49	0,53
Keratometrischer Netto-Zylinder präoperativ	-0,13	0,74
Irregularität präoperativ	-1,08	0,02 *
Alter zum Zeitpunkt der T-Cuts	0,22	0,02 *

**Tabelle 3-3 Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse mit der abhängigen Variable Verbesserung des refraktiven Astigmatismus-Scores durch die T-Cut-Operation**

	Estimate	p-Wert
(Intercept)	2,12	0,73
Logarithmierter bestkorrigierter Visus präoperativ	3,09	0,35
Keratom. Netto-Zylinder präoperativ	-0,14	0,69
Irregularität präoperativ	-0,74	0,06 •
Alter zum Zeitpunkt der T-Cuts	0,10	0,15

**Tabelle 3-4 Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse mit der abhängigen Variable Verbesserung des keratometrischen Astigmatismus-Scores durch die T-Cut-Operation**



### 3.10.2 Verbesserung der Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur

Um eine Verbesserung der dekadisch logarithmierten Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur vorhersagen zu können, wurde anhand der präoperativen Patientendaten und Messergebnisse, nach Prädiktoren gesucht mit deren Hilfe eine Erfolgsprognose gemacht werden kann. Herausgestellt hat sich, dass postoperativ die Zunahme der Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur mit der Höhe des präoperativen Sehvermögens mit bestmöglicher Brillenkorrektur korreliert ( $p = 0,02$ ) (Tabelle 3-5). Dieses Erkenntnis weist darauf hin, dass bei Patienten mit einer Ausgangsehschärfe ab 0,25, eine Verbesserung durch die T-Cut-Operation wahrscheinlich ist.

	Estimate	p-Wert
(Intercept)	0,04	0,92
Dekadisch logarithmierter bestkorrigierter Visus präoperativ > $(-0,6) \pm 0,25$	-0,37	0,01 *
Keratometrischer Netto-Zylinder präoperativ	-0,02	0,25
Irregularität präoperativ	-0,01	0,63
Alter zum Zeitpunkt der T-Cuts	0,002	0,57

**Tabelle 3-5 Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse mit der abhängigen Variable Verbesserung der Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur durch die T-Cut- Operation**

### 3.10.3 Zunahme des irregulären Astigmatismus

Um eine Zunahme des irregulären Astigmatismus vermeiden zu können ist die Bestimmung der Prädiktoren aus den vorhandenen präoperativen Daten besonders wichtig. Herausgestellt hat sich, dass der präoperative irreguläre Astigmatismuswert mit der Verschlechterung des postoperativen Astigmatismuswertes korreliert ( $p = 0,0001$ ). Bei Patienten mit einem hohen präoperativen Wert ist eine Verbesserung durch die Entlastungsschnitte wahrscheinlich. Es ist nur als Trend zu erkennen, dass es mit der Zunahme des Alters eventuell zu einer Zunahme des irregulären Astigmatismus kommen kann ( $p = 0,05$ ) (Tabelle 3-6).

	Estimate	p-Wert
(Intercept)	-0,50	0,84
Keratometrischer Netto-Zylinder präoperativ	-0,15	0,23
Irregularität präoperativ	-0,69	0,0001 ***
Alter zum Zeitpunkt der T-Cuts	0,22	0,05 •

Tabelle 3-6 Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse mit der abhängigen Variable *Zunahme des irregulären Astigmatismus* durch die T- Cut-Operation

### 3.11 Die sehbezogene Lebensqualität

#### Welche Aspekte aus den Fragebogen werden durch das Verfahren beeinflusst?

Um eine Aussage über den Effekt der T-Cut-Operation auf den Jetzt-Zustand der Patienten treffen zu können, wurden Modelle gebildet. Hierbei wurden unabhängige Variablen aus den Patientendaten und aus der Veränderung der patientenrelevanten Faktoren wie z.B. der Sehschärfe, in Betracht gezogen, um deren Einfluss auf die einzelnen Dimensionen des Fragebogens zu überprüfen.

#### Fragebogendimension „General Vision“

Es hat sich herausgestellt, dass „General Vision“ von der Verbesserung der Sehschärfe durch die T-Cut-Operation positiv beeinflusst wurde. Diese Aussage kann als Nachweis für die positive Wirkung der T-Cut-Operation aus Sicht des Patienten dienen ( $p = 0,02$ ) (Tabelle 3-7).

	Estimate	p-Wert
(Intercept)	70,10	< 001 ***
Verbesserung des dekadisch logarithmierten bestkorrigierten Visus	19,89	0,02 *
Alter zum Zeitpunkt der T-Cuts	-0,08	0,72

Tabelle 3-7 Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse mit der abhängigen Variable „General Vision“

### 3.12 Komplikationen

Unter den Patienten mit einer Hornhauttransplantation (95 %) gab es als Folge der T-Cut-Operation keine Hornhautabstoßung. Bei keinem der Eingriffe kam es zu einer Hornhautperforation durch die Schnitte. Bei 3 Patienten wurde das Transplantat aufgrund des hohen „Restastigmatismus“ zu einem späteren Zeitpunkt ausgetauscht.

## **4 Diskussion**

### **4.1 Datenqualität**

Diese Arbeit dient der Versorgungsforschung und erfasst somit die Realsituation aller Patienten unabhängig von deren Krankheitsbildern. Dies kann das Endergebnis besonders bei unabhängigen visusreduzierenden Augenerkrankungen wie altersbedingte Makuladegeneration (AMD) stark beeinflussen. Außerdem könnte eine Kataraktoperation das Sehvermögen positiv beeinflussen.

Für die Gewinnung aussagekräftiger Ergebnisse wäre besonders günstig im Vorfeld über ein einheitliches Operations- und Untersuchungsschema zu verfügen, um Fehlerquellen zu vermeiden. Außerdem wäre eine höhere Patientenzahl notwendig, um den Effekt der T-Cut-Operation mittels Stichprobe sicherer bewerten und vorhersagen zu können. Es fehlte eine aussagekräftige Stichprobe, die folgende Kriterien [17] erfüllen sollte:

1. Die Stichprobe muss ein verkleinertes Abbild der Grundgesamtheit sein
2. Im Voraus muss man die einzelnen Elemente der Stichprobe definieren
3. Die Grundgesamtheit sollte angebbar und empirisch definierbar sein
4. Das Auswahlverfahren muss angebbar sein und Forderung (1.) erfüllen

Diese Voraussetzungen mussten berücksichtigt werden, was durch die begrenzte Anzahl der Beobachtungen nicht erfüllt werden konnte, da der operative Eingriff relativ selten durchgeführt wurde. Deswegen wurden rückwirkend alle Patienten, bei denen über die Jahre hinweg an der Universitäts-Augenklinik in Freiburg T-Cuts durchgeführt wurden, in Betracht gezogen. Aus diesem Grund könnte eine repräsentative Bedeutung der Ergebnisse fehlen.

Für die Refraktions- und Visusbestimmung lag kein einheitliches Durchführungsschema vor. Unterschiedliche Techniken der Refraktionsbestimmung durch unterschiedlichen Prüfer in dem Zeitraum der Nachkontrolle, charakterisieren eine retrospektive Patientenbeobachtung. Ermittelt wurde die monokulare Sehschärfe anhand der eigenen Brille, des Autorefraktometers oder der subjektiven Refraktion. Aus diesem Grund könnte die erhobene Korrektur zum Zeitpunkt der Untersuchung optimierungsbedürftig gewesen sein, um das volle Sehvermögen des Patienten zu ermitteln.

Präoperativ, sowie während der Nachbeobachtungszeit wurden teilweise zwei Geräte zur Bestimmung der Hornhautparameter verwendet. Überwiegend wurden die Messungen mithilfe des Videokeratoskops Orbscan II (Fa. Bausch & Lomb, USA) durchgeführt. Seit Anfang 2010 wurde der Optische Kohärenz Tomograph (Casia SS-1000, Tomey Corporation, Nogoya, Japan) verwendet. Um eventuelle Messabweichungen möglichst gering zu halten, wurde der Videokeratoskop Orbscan II bei den neueinbestellten Patienten eingesetzt.

Zwei Operateure setzten überwiegend die Entlastungsschnitte. Nur in einem Fall wurde der Eingriff von einem dritten Chirurgen durchgeführt. Die subjektive Beurteilung bei der Planung der Schnittgeometrie und die eigene Technik der Operationsdurchführung könnten einen Einfluss auf das Operationsergebnis gehabt haben.

Nur mit einer Kontrollgruppe kann tatsächlich sichergestellt werden, dass eventuelle Behandlungserfolge durch die Operation erzielt wurden. Ohne Kontrollgruppe kann ein Kausalzusammenhang zur Operation nur indirekt hergestellt werden, indem beispielsweise eine Korrelation mit einem Operationsparameter und mit dem Endzustand nachgewiesen wird. Dies gelang über die Korrelation der Fragebogenangaben mit dem Gewinn an postoperativer Sehschärfe nach der T-Cut-Operation. Da die präoperative sehbezogene Lebensqualität der Patienten nicht erfasst wurde und aufgrund der fehlenden Kontrollgruppe, wurde indirekt eine bestehende Wirkung der Methode auf den Jetzt-Zustand der Befragten nachgewiesen.

Der Fragebogen bezieht sich auf das beidäugige Sehen und kann nicht isoliert auf das operierte Auge angewendet werden. Aus diesem Grund, könnte im Falle eines fehlenden Zusammenhangs zwischen den Fragebogendimensionen und den Patientendaten, ein Einfluss durch das Partnerauge bestehen.

Grundsätzlich wurden nur diejenigen Patienten für die Auswertung herangezogen, bei denen alle Daten für die jeweilige statistische Beobachtung vorhanden waren. Aus diesem Grund konnte das Operationsergebnis nicht von jedem Patienten das Endergebnis beeinflussen. Dadurch könnte es zu einer Verzerrung des jeweiligen geprüften Parameters gekommen sein.

Ursprünglich wurden 22 Patienten, bei denen die letzte Untersuchung über zwei Jahre zurücklag, für eine aktualisierte Untersuchung einbestellt. Davon haben sich 12 der Operierten vorgestellt. Bei dieser Patientengruppe wurden alle notwendigen Ergebnisse ermittelt. Dadurch konnten alle deren subjektiven und objektiven Ergebnisse zur Analyse herangezogen werden, welche sich dadurch gehäuft auf das Endergebnis widerspiegeln.

Aufgrund der relativ niedrigen Rücklaufquote der Befragung von 54 % könnte es zu einer Verzerrung bei der Beurteilung der Zufriedenheit gekommen sein. Angenommen, es neigen eher die unzufriedenen Patienten, dazu den Fragebogen nicht zurückzuschicken, so wird das durchschnittliche subjektive Erfolgserlebnis fälschlicherweise positiv beeinflusst.

## **4.2 Wahl der Analysemethoden zur Quantifizierung des Operationseffekts**

Um den Effekt der T-Cut-Operation auf den Hornhautastigmatismus zu analysieren wurden unterschiedliche Methoden verwendet. Als äußerst patientenrelevant erweist sich die „Score“-Methode. Der „Score“ ist ein Ergebnis einer ausführlichen Diskussion von Experten, die der Artikel von Morlet et al zusammenfasst [16]. Das Besondere dieses Verfahrens liegt in der gleichzeitigen und gewichteten Ordinalisierung der Einflussfaktoren Zylinderstärke und Achsenrichtung. Nach bestem Wissen, wurde der T-Cut Effekt hier erstmalig mit dieser patientenrelevanten und realitätsnahen Methode ausgewertet.

Zur Analyse des Einflusses der T-Cut-Operation auf die Brillenanpassbarkeit, wurde zusätzlich der refraktive Netto-Zylinderwert in Betracht gezogen. Aufgrund der feineren Abstufung hat die Analyse des keratometrischen Netto-Zylinderwertes, zusätzlich zur Analyse des Score-Wertes, seine Berechtigung.

Mit dem Ziel, das Ergebnis der subjektiven Astigmatismusänderung zu unterstützen, wurde die Wirkung der T-Cut-Operation auch objektiv, anhand des keratometrischen Zylinderwertes und der Achse analysiert. Hierbei sollten ungünstige Faktoren, die einen Einfluss auf die subjektiven Refraktionswerte haben können, wie zum Beispiel der irreguläre Astigmatismusanteil, vermieden werden.

## **4.3 Wirksamkeit des operativen Verfahrens**

### **4.3.1 Operationsergebnis**

Das wichtigste Ziel dieser Arbeit war, die Wirkung bzw. die Sicherheit der T-Cut-Operation als Maßnahme zur Reduktion von Hornhautastigmatismus zu überprüfen.

Untersucht wurde, ob sich die Methode in einer Patientengruppe mit einem hohen Hornhautastigmatismus überwiegend nach perforierender Keratoplastik als sinnvoll erweist. Ein weiteres Ziel war festzustellen, ob es möglich ist, schon im Vorfeld die Patienten zu identifizieren bei denen die T-Cuts postoperativ von Vorteil sind, bzw. bei denen der Eingriff postoperativ sich als Nachteil erweisen wird. Hierbei wurde unter den präoperativen Patientendaten und den subjektiv und objektiv ermittelten Patientenwerten nach Prädiktoren gesucht, die den Operationserfolg bestätigen und

andere, die Risiken aufdecken können. Ob mit einer Zunahme des irregulären Astigmatismusanteils als Nebenwirkung der Entlastungsschnitte zu rechnen ist, ist unklar. Überprüft wurde, ob durch den Eingriff die Brillenanpassung optimiert werden kann.

Mittels NEI VFQ-25 Fragebogen wurde die Wirkung des messbaren Operationsergebnisses auf die sehbezogene Lebensqualität der Patienten erfasst. Auch durch die Wahl der statistischen Methoden wurde eine patientenrelevante und möglichst realitätsnahe Auswertung beabsichtigt.

Innerhalb dieser Patientenbeobachtung hat sich die Wirkung der T-Cut-Operation zur Reduktion von Hornhautastigmatismus bestätigt. Allerdings wurde auf lange Sicht eine leichte Abnahme der Wirkung der Entlastungsschnitte beobachtet, worüber auch andere Autoren berichten [18]. Es hat sich herausgestellt, dass die Mehrheit der Operationen (53 %) zu einer subjektiven Verbesserung des patientenrelevanten Astigmatismus, durch dessen Reduktion geführt hat. Trotz der durchschnittlich geringen Irregularitätszunahme wurde eine Optimierung der Brillenanpassung ermöglicht, was auch die Zunahme der Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur erklären kann (Tabelle 3-1). Durch die Reduktion des Hornhautastigmatismus wurde eine abnehmende Myopisierung, bzw. eine relative Hyperopisierung anhand des sphärischen Äquivalentes beobachtet. Die subjektive Verbesserung der patientenrelevanten Sehschärfe durch die Optimierung der Brillenanpassung als Folge der T-Cut-Operation, wurde auch objektiv mithilfe der keratometrischen Messwerte bestätigt (Tabelle 3-1).

Gefunden wurden Prädiktoren aus den Patientendaten und Messwerten, die einen Hinweis auf den Operationserfolg bezüglich der Verbesserung der Sehschärfe, der Brillenanpassung und des irregulären Astigmatismusanteils, sowie über die sehbezogene Lebensqualität allgemein, geben können (Tabelle 3-3 bis Tabelle 3-7).

Um einen Vergleich der Operationsergebnisse mit den bestehenden Erkenntnissen anderer Autoren zu gewährleisten, wurde im Folgenden der Mittelwert herangezogen. Nach einer mittleren Beobachtungszeit von 3,3 Jahren (Spannweite: 1 Tag bis 9,2 Jahre) wurde innerhalb dieser Patientengruppe eine Reduktion des durchschnittlichen keratometrischen Netto-Zylinders um 3,30 D (35 %) im Betrag erreicht, von etwa -9,50 D präoperativ auf -6,20 D postoperativ. Andere Autoren [8],



[9], [19], [20], [21] berichten über einen höheren Wert der Astigmatismusreduktion von 4,0 D (3,43 D bis 4,50 D) im Betrag, ermittelt über eine Nachbeobachtungszeit von einem Monat bis zu fünf Jahren. Mit 3,30 D Astigmatismusreduktion im Betrag liegt das Ergebnis unter dem von anderen Autoren durchschnittlichen Effekt [8], [9], [19], [20], [21]. Unter Berücksichtigung der Abnahme der Wirkung der T-Cuts über die Zeit [18] und der deutlich längeren Nachbeobachtung innerhalb dieser Gruppe, könnte trotzdem ein gleichstarker Operationseffekt vorhanden sein.

Die refraktive Reduktion des Astigmatismus betrug im Mittel 19 %, von etwa -7,3 D auf -5,7 D mit einer abnehmenden Myopisierung, bzw. mit einer relativen Hyperopisierung um etwa 2,45 D, von etwa -2,50 D auf -0,07 D. Die Diskrepanz zwischen dem keratometrischen und subjektiven Ergebnis könnte einerseits durch die störende Wirkung des irregulären Astigmatismusanteils, der durch die unregelmäßige Lichtbrechung der Hornhaut entsteht und sich nicht mittels einer Brille korrigieren lässt, erklärt werden. Andererseits könnte die Refraktionsbestimmung durch den hohen Astigmatismus erschwert und seitens des Patienten unsicher gewesen sein. Andere Autoren berichten auch über einen „hyperopic shift“ [22], einige stellten einen „coupling effect“ [23] fest, also keine wesentliche Änderung [9] oder sogar einen „myopic shift“ [20]. Daraus lässt sich schließen, dass die T-Cuts den steilen Hornhautmeridian stärker abflachen als der flache Meridian sich dadurch aufsteilt. Dadurch, dass die T-Cuts auf dem Hornhauttransplantat und damit relativ zentrumsnah angesetzt wurden, ist die Aussage plausibel [22].

Anhand der Vektoranalyse wurde die Gesamtastigmatismusänderung unter Berücksichtigung der Zylinderstärke und der Achse berechnet. Die vektorkorrigierte Astigmatismusänderung betrug im Durchschnitt 5,20 D und lag damit etwas über den Ergebnissen anderer Autoren von 4,40 D bis 4,64 D [8], [9], [19].

Zum Zeitpunkt der letzten Nachkontrolle, wurde bei 70 % der Operationen eine Zunahme der Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur um zwei Visusstufen bzw. um zwei Optotypenzeilen auf der ETDRS-Visustafel festgestellt. Ein Einfluss dieser Beobachtung lässt sich unter den Befragten durch deren Angaben zu den Fragebogendimensionen General Vision, Near Activities, Distance Activities erkennen. Auch andere Autoren berichten über eine überwiegend zunehmende Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur nach der T-Cut-Operation [8], [9], [19]. Daraus lässt sich eindeutig schließen, dass durchschnittlich die Methode zur

Astigmatismusreduktion nach perforierender Keratoplastik gut geeignet ist und sich als einfach durchführbar, effektiv und relativ sicher erwiesen hat. Wird aber der einzelne Patient in Betracht gezogen, dann gilt immer noch die mangelhafte Vorhersagbarkeit der induzierten Änderung als bestehender Nachteil [8], [9], [21].

#### **4.3.2 Nachbeobachtungszeit**

Innerhalb dieser retrospektiven Arbeit wurden alle Patienten in Betracht gezogen, bei denen T-Cuts in den Jahren zwischen 2003 und 2012 an der Universitäts-Augenklinik Freiburg durchgeführt wurden.

Aufgrund der sehr kurzen Nachbeobachtungszeit in einzelnen Fällen und der negativen Auswahl der Patienten, wurden für einige untersuchte Faktoren „Ausreißer“ beobachtet. Solche Extremwerte können den Mittelwert und die Standardabweichung stark beeinflussen. Daher wurden Median und Quartile zur Beschreibung der Verteilungen gewählt. Die Quartile umspannen die Hälfte der Messwerte und der Median unterteilt (in erster Näherung) die Datenreihe in zwei gleichgroße Gruppen.

Wie es zu erwarten war, nahm die Frequenz der Nachkontrollen über die Zeit exponentiell ab (Abb. 3.2-1). Die relativ kurze durchschnittliche Beobachtungszeit wird einerseits durch den Operationstermin bestimmt. Andererseits wurden einige der Patienten aus unterschiedlichen Gründen nach dem Eingriff nicht weiter beobachtet. Zum Beispiel wurden die Nachkontrollen bei Patienten mit zu langer Anfahrtszeit, wohnortsnah durchgeführt. Bei anderen wurde die regelmäßige Nachbeobachtung aufgrund deren allgemeinen gesundheitlichen Zustands oder der Lebensdauer unterbrochen.

#### **4.3.3 Langzeitstabilität des T-Cut Effektes**

Das Ziel dieser Beobachtung war zu überprüfen, ob die Operationsergebnisse über die Zeit konstant bleiben oder es zu einer Zu- oder Abnahme des Operationseffektes kommt. Neben dem Operationserfolg ist dieser Faktor für die sehbezogene Lebensqualität auf lange Sicht von größter Bedeutung. Dafür wurde das longitudinale Verhalten des keratometrischen Astigmatismus über die Zeit für jedes Auge getrennt betrachtet. Mit der Wahl einer linearen Regressionsanalyse wurde ein lineares Verhalten des objektiven Messwertes vorausgesetzt. Der keratometrische Astigmatismus eignet sich besonders gut, da dieser Messwert bei allen Patienten vorlag und im Gegensatz zu subjektiven Messwerten sensibler ist.

Innerhalb der beobachteten Patientengruppe wurde im Median eine Zunahme des keratometrischen Astigmatismus um 0,3 D im Betrag pro Jahr festgestellt (Abb.

3.3-1), was nur unter der Annahme des linearen Verhaltes des Messwertes über die Zeit korrekt ist. Nur unter dieser Bedingung könnte das Ergebnis bedeuten, dass der Zylinderwert sich in 10 Jahren um 3,0 D im Betrag erhöht hat. Über einen Wirkungsverlust, bzw. über eine Zunahme des keratometrischen Zylinderwertes von den Entlastungsschnitten über die Jahre berichten auch andre Autoren [18]. Andererseits kann das Ergebnis innerhalb der beobachteten Gruppe durch Patienten mit kurzer Nachbeobachtung und gleichzeitig starker Veränderung bedingt sein.

#### **4.3.4 Wirksamkeit des Verfahrens**

##### **4.3.4.1 Patientenbild**

Der hohe Hornhautastigmatismus und der irreguläre Astigmatismus nach einer Hornhauttransplantation oder eine hohe Anisometropie sind Formen der Fehlsichtigkeit, die sich oft mittels Brille nicht zu voller Zufriedenheit der Patienten korrigieren lassen, sondern eine Kontaktlinsenanpassung erfordern.

Generell wird zuerst eine bestmögliche Brillenkorrektur vorgenommen. Wenn sich diese als nicht ausreichend, praktikabel oder verträglich erweist, wird eine Kontaktlinsenanpassung vorgenommen. Sollte auch diese konservative Problemlösung an ihre Grenzen stoßen oder wird sie aus unterschiedlichen Gründen vom Patienten nicht gewünscht, bleibt die refraktive Chirurgie als letzte Möglichkeit. Demzufolge haben die Patienten, denen ein solcher Eingriff angeboten wurde, bereits eine längere Leidensgeschichte hinter sich gebracht und sind tendenziell weniger zufrieden als Patienten, bei denen eine unkomplizierte Brillenkorrektur gelang.

#### **Für welche Patienten ist das Verfahren empfehlenswert und für welche nicht?**

Aufgrund des fehlenden Erfolges mit einer Kontaktlinse, bleibt die Brille auch nach der Operation oft als letzte Korrektionsmöglichkeit und als einzige Lösung zur Verbesserung der sehbezogenen Lebensqualität übrig. Aus diesem Grund ist eine positive Auswirkung der T-Cut-Operation auf die Brillenanpassung für diese Patientengruppe besonders wichtig.

#### 4.3.4.2 Brillenanpassbarkeit

Deswegen ist es sehr wichtig den Effekt des Eingriffs schon im Vorfeld vorhersagen zu können. Insbesondere ist interessant, ob für den Patient eine Brille durch die Operation verträglicher wird, eine bestehende Brillenanpassung optimiert werden kann oder ob sogar eine Verschlechterung der Brillenanpassbarkeit zu erwarten ist.

Um dies zu untersuchen, wurde ein Modell aus den präoperativen Einflussfaktoren gebildet, das einen Einfluss auf eine Verbesserung der Brillenanpassbarkeit durch die Operation überprüft (Tabelle 3-3). Dies kann die Patientenberatung unterstützen. Dadurch lässt sich anhand der individuellen Gegebenheiten effizienter planen

Es bestand die Befürchtung, dass ein hoher präoperativer irregulärer Astigmatismusanteil die Verbesserung der Brillenanpassung verhindern kann. Die Ursache für diese Annahme ist die störende Wirkung durch die unregelmäßige Lichtbrechung der Hornhaut, die mithilfe einer Brille nicht kompensiert werden kann. Diese Vermutung hat sich subjektiv in der hier beobachteten Patientengruppe bestätigt. Es hat sich herausgestellt, dass bei einem hohen präoperativen Irregularitätswert, eine fehlende Verbesserung der Brillenanpassung wahrscheinlich ist ( $p = 0,02$ ).

Objektiv konnte kein Beweis, bzw. kein Faktor sicher als Vorhersagewert gefunden werden. Auch ließ sich ein Trend erkennen, dass eine hohe Irregularitäten vor der T-Cut-Operation für die Verbesserung des Astigmatismus-Scores ungünstig sind ( $p = 0,06$ ) (Tabelle 3-4). Der von anderen Autoren berichtete positive Zusammenhang zwischen dem Verbesserungsgrad und der Höhe des präoperativen Zylinderwertes bestätigte sich hier nicht [20].

Dies könnte allerdings an der geringeren Fallzahl liegen. Andererseits lässt sich mittels einer Brille die störende Wirkung des irregulären Astigmatismusanteils nicht kompensieren. Darum ist das Ergebnis auch als Trend plausibel und soll dem subjektiv empfundenen Effekt der Operation als Beweis dienen.

Es wurde ein Zusammenhang zwischen der empfundenen Änderung der Brillenanpassbarkeit und dem Alter des Patienten zum Zeitpunkt der Operation beobachtet (Tabelle 3-3). Es hat sich herausgestellt, dass mit zunehmendem Alter eine Verbesserung der Brillenanpassbarkeit wahrscheinlicher ist ( $p = 0,02$ ).

Die Ursache für diesen Zusammenhang könnte an einer Kataraktoperation, die zu einem späteren Zeitpunkt erfolgte oder auch an der Qualität der Heilungsvorgänge im hohen Alter, liegen.

Ob das Ergebnis durch eine postoperative Kataraktoperation verzerrt wurde, lässt sich aufgrund der kleinen Fallanzahl nicht abschließend klären. Diese Frage muss in nachfolgenden Studien näher untersucht werden. Während der Patientenberatung, soll der Faktor mit Vorsicht als Hinweis erwähnt werden.

#### **4.3.4.3 Zunahme des irregulären Astigmatismus**

Die Änderung des irregulären Astigmatismus kann als Sicherheitsparameter betrachtet werden. Es bestand eine Befürchtung, dass die Schnitte zu einer Erhöhung der Irregularität führen können, was eine Verbesserung der Brillenanpassung verhindern oder sogar negativ beeinflussen kann. Diese Vermutung wurde objektiv widerlegt ( $p = 0,0001$ ). Basierend auf der beobachteten Patientengruppe, hat sich herausgestellt, dass bei einem hohen präoperativen Irregularitätswert eine Reduktion des Irregularitätswertes wahrscheinlich ist (Tabelle 3-6).

Diese Aussage kann damit erklärt werden, dass die Geometrie der Entlastungsschnitte intraoperativ und unter einer Regularitätskontrolle bestimmt wurde. Dabei wurden die Schnittparameter, anhand einer Placido-Scheibe optimiert. Aus diesem Grund könnte der Zusammenhang daran liegen, dass die Operateure gemäß Placido-Kontrolle die Schnitte oft gezielt asymmetrisch platziert haben. Der Irregularitätswert fällt umso niedriger aus, je höher das Alter zum Zeitpunkt der Operation ist. Hierbei besteht aber eine gewisse Unsicherheit ( $p = 0,05$ ).

#### **Zusammenfassung**

Basierend auf beiden Modellen kann folgende Schlussfolgerung gezogen werden. Wenn ein hoher präoperativer irregulärer Astigmatismusanteil vorliegt und dieser durch die Operation positiv beeinflusst werden kann, ist aufgrund seiner störenden Wirkung eine Verbesserung der Brillenanpassung dennoch begrenzt.

#### **4.3.4.4 Verbesserung der Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektion**

Die präoperative Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektion verbessert sich stärker, wenn ein gewisser Ausgangsvisus vorhanden ist. Diese Vermutung hat sich bestätigt. Durch die untersuchte Patientengruppe hat sich herausgestellt, dass eine Verbesserung der Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektion ab einem Ausgangsvisus von 0,25 wahrscheinlich ist ( $p = 0,01$ ) (Tabelle 3-5). Unter der Berücksichtigung von anderen visuseinschränkenden Faktoren, wie zum Beispiel Makulaerkrankungen, ist diese Aussage plausibel.

Praxisbezogen besteht aufgrund der geringen Anzahl der Beobachtungen eine gewisse Unsicherheit. Außerdem wurde der Visus monokular ermittelt. Hierbei wurden ungünstige Abbildungsfehler und eventuell auftretende anisometropiebedingte Störungen des Binokularsehens außer Acht gelassen.

Speziell dieses Ergebnis kann in der Patientenberatung, als Orientierung bei der Planung des weiteren Vorgehens dienen. Es sind weitere Forschungsarbeiten notwendig, um die Aussage über die Bedeutung der Höhe der Ausgangssehschärfe als Prädiktor zu fundieren.

### **4.4 Die sehbezogene Lebensqualität**

#### **Der Fragebogen**

Die Auswirkung der T-Cut-Operation, sollte mittels NEI VFQ-25 Fragebogens erfasst werden. Das Ziel der Fragebogenanwendung war zu beweisen, dass die gemessene, bzw. empfundene Änderung, die mit der T-Cut-Operation nachweislich zusammenhängt, einen Einfluss auf den Jetzt-Zustand der Patienten hat. Es war unklar, ob der Patient im Alltag von dem Eingriff profitiert oder ob die Operation als „Laborkosmetik“ keratometrischer Kennzahlen zu sehen ist.

Es hat sich herausgestellt, dass einerseits die Sehschärfe als ein patientenrelevanter und aussagekräftiger Faktor anzusehen ist und andererseits die Wirkung auch von den Patienten empfunden und somit bestätigt wurde.

Eine Verbesserung der Sehschärfe nach der Operation wurde im Fragebogen in Übereinstimmung mit einem Anstieg der Sehschärfe durchschnittlich beobachtet. Die Auswirkung des operativen Eingriffes auf das Sehen allgemein (Tabelle 3-7), den

Gesundheitszustand und auf die Gesamtzufriedenheit der Patienten ist ebenfalls durchschnittlich als positiv anzusehen.

### **Welche Aspekte aus den Fragebogen wurden durch das Verfahren beeinflusst?**

Die Vermutung, dass die Brillenwerte und die Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur ein aussagekräftiges Maß für den Operationserfolg und dadurch für die sehbezogene Lebensqualität ist, hat sich durch die Verbesserung dieser Faktoren und durch die Fragebogendimension „General Vision“ bestätigt. Hierfür wurden die Fragen, die das subjektive Empfinden der Patienten widerspiegeln, mit dem Sehvermögen mit bestmöglicher Brillenkorrektur korreliert. Es hat sich herausgestellt, dass die Fragebogendimension „General Vision“ das Alltagsleben, nach dem der Fragebogen auch fragt, von der Verbesserung der Sehschärfe durch die Operation positiv beeinflusst war (Tabelle 3-7). Das ist der Nachweis dafür, dass auch aus Sicht der Patienten der Eingriff eine Wirkung hat und sich auf den Jetzt-Zustand der Patienten widerspiegelt ( $p = 0,02$ ). Der Zusammenhang ist plausibel, da sich bei einer Verbesserung der postoperativen Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur auf eine positive Operationswirkung zurückschließen lässt.

Zu den anderen Fragebogendimensionen wurde innerhalb der befragten Patientengruppe kein statistisch signifikanter Zusammenhang gefunden. Außerdem bezieht sich der Fragebogen auf das beidäugige Sehen und kann nicht isoliert auf das operierte Auge angewendet werden.

Aus diesem Grund, wenn generell kein Zusammenhang zwischen den einzelnen Fragebogendimensionen und den Patientendaten gefunden wurde, heißt das nicht unbedingt, dass keiner vorhanden war, sondern der Effekt könnte durch das Partnerauge kompensiert worden sein. Allerdings, wenn eine Beziehung besteht, dann war der Effekt so stark, dass eine Überlagerung durch das Partnerauge überspielt wurde.



## 4.5 Sicherheit des operativen Verfahrens

### 4.5.1 Patienten mit Visusabfall

Diese Arbeit soll der Versorgungsforschung dienen und erfasst somit die Realsituation aller Patienten unabhängig von deren Krankheitsbildern. Bei einem Teil der Patienten (30 %) wurde eine Verschlechterung der postoperativen Sehschärfe im Vergleich zum präoperativen Wert, zum Zeitpunkt der letzten Nachkontrolle festgestellt (Abb. 3.8-2). Gesucht wurde in den Patientenakten nach Erklärungen für diese Beobachtung. Insbesondere wurde eruiert, ob eine Kausalität zur T-Cut-Operation nachweisbar war (Tabelle 4-1).

Es stellte sich heraus, dass das Ergebnis bei 6 von 9 Patienten mit einem Visusabfall durch unabhängige Augenerkrankungen, die zu einem späteren Zeitpunkt aufgetreten sind, verursacht wurde. Für die Abnahme der Sehschärfe nach der Operation, wurde nur bei zwei Patienten keine unabhängige Ursache gefunden. Hier wäre eine negative Auswirkung der T-Cut-Operation auf die Brillenanpassung möglich.

Visus vor der T-Cut-Operation	Indikation	Visus bei der letzten Nachkontrolle
0,8	Beginnender Re-Keratokonius	0,5
0,4	Netzhautablösung	0,3
0,3	Trockene AMD	0,2
0,5	Re-pKP	1/35
0,05	Zentralskotom	1/50
0,63	Anfangsstadium feuchte AMD	0,2
1,0	Keine pathologische Ursache	0,63
0,6	Keine pathologische Ursache	0,4
0,5	Keine pathologische Ursache	0,4

Tabelle 4-1 Postoperativer Visusabfall bei 9 Patienten

#### **4.5.2 Patienten mit starker Verschlechterung des refraktiven Astigmatismus**

Ein Patient verschlechterte sich für den Brillen-Score deutlich von 3 präoperativ auf 21 postoperativ, bei gleichbleibender Sehschärfe von 0,4. Die Zunahme des Brillen-Scores ergibt sich allerdings durch den ungewöhnlich niedrigen präoperativen Brillenastigmatismus von nur einer Dioptrie, bei einem keratometrischen Astigmatismus von -9,30 D. Am Ende der Nachbeobachtungszeit betrug der keratometrische Astigmatismus -8,90 D, der Brillenastigmatismus aber -10,0 D. Die Konstanz des keratometrischen Astigmatismus schließt eine starke Formstörung der Hornhaut als Ursache aus. Möglicherweise hätte der Patient mit einem geringeren Zylinder eine ähnliche Sehschärfe erreicht. In diesem Fall wäre die Zunahme des Scores geringer ausgefallen. Allerdings wurde bei diesem Patient postoperativ eine Kontaktlinsenanpassung erfolgreich durchgeführt.

## **5 Zusammenfassung**

Die Besonderheit dieser Arbeit liegt in der Wahl des Auswertungsverfahrens. Zum ersten Mal, soweit bekannt, wurde der Astigmatismus für die patientenrelevante Fragestellung korrekt ausgewertet.

Das wichtigste Ziel dieser Arbeit war die Wirkung bzw. die Sicherheit der T-Cut-Operation, als Maßnahme zur Reduktion von Hornhautastigmatismus, zu überprüfen. Es hat sich herausgestellt, dass die Methode zur Reduktion von hohem Hornhautastigmatismus sich durchschnittlich als sinnvoll innerhalb dieser Patientengruppe erwies.

Die operierten Patienten haben im Durchschnitt durch die positive Auswirkung des Eingriffs auf die Brillenanpassung und dadurch auf die Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur profitiert. Demzufolge wurde die sehbezogene Lebensqualität positiv beeinflusst. Eine unklare Verschlechterung ist besonders selten. Die Methode mittels Entlastungsschnitte erweist sich als einfach durchführbar, effektiv und relativ sicher. Deswegen ist sie heute noch ein adäquates Mittel zur Astigmatismusreduktion.

## **6 Ausblick**

Die linearen Entlastungsschnitte haben sich als erfolgreich für die Patienten erwiesen. Eine Verbesserung des irregulären Astigmatismusanteils ist in Grenzen möglich. Um eine hohe Präzision der Vorhersage, der Planung, der Schnittgeometrie und der Operationsdurchführung zu gewährleisten, unterliegt das Verfahren allerdings der weiteren Forschung. In der Zukunft lässt sich die Wirkung und das Erfolgsergebnis der T-Cut-Operation möglicherweise durch eine Computersimulation im Vorfeld und mithilfe von Laserschnitten optimieren.

## 7 Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.2-1 Häufigkeitsverteilung der Nachbeobachtungszeit von 41 Patienten in Tagen .....	27
Abb. 3.3-1 Häufigkeitsverteilung der Langzeitstabilität des keratometrischen Zylinderwertes von 33 Patienten in Dioptrien pro Tag .....	28
Abb. 3.5-1 Häufigkeitsverteilung der durch die T-Cut-Operation induzierten Änderung des keratometrischen Netto-Zylinderwertes von 40 Patienten in Dioptrien .....	31
Abb. 3.5-2 Häufigkeitsverteilung der durch die T-Cut-Operation induzierten Änderung des refraktiven Netto-Zylinderwertes von 36 Patienten in Dioptrien .....	32
Abb. 3.5-3 Häufigkeitsverteilung der vektoriellen Änderung des keratometrischen Astigmatismus durch die T-Cut-Operation von 40 Patienten in Dioptrien .....	33
Abb. 3.5-4 Häufigkeitsverteilung der vektoriellen Änderung der Gesamtrefraktion durch die T-Cut-Operation von 36 Patienten in Dioptrien .....	34
Abb. 3.5-5 Häufigkeitsverteilung der Änderung des keratometrischen Astigmatismus-Scores durch die T-Cut Operation von 40 Patienten in Punkten .....	35
Abb. 3.5-6 Häufigkeitsverteilung der Änderung des refraktiven Astigmatismus-Scores von 34 Patienten durch die T-Cut-Operation in Punkten .....	36
Abb. 3.6-1 Häufigkeitsverteilung der Änderung des Irregularitätsindex von 34 Patienten durch die T-Cut-Operation in Dioptrien .....	37
Abb. 3.7-1 Häufigkeitsverteilung des initialen sphärischen Äquivalentes von 38 Patienten in Dioptrien .....	38
Abb. 3.7-2 Häufigkeitsverteilung des finalen sphärischen Äquivalentes von 39 Patienten in Dioptrien .....	39
Abb. 3.8-1 Häufigkeitsverteilung der logarithmierten initialen Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur von 41 Patienten in logMAR .....	40
Abb. 3.8-2 Häufigkeitsverteilung der logarithmierten finalen Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur von 40 Patienten in logMAR .....	41

Abb. 3.8-3 Häufigkeitsverteilung des Zeilengewinns durch die T-Cut-Operation ermittelt mit der ETDRS-Visustafel mit der bestmöglichen Brillenkorrektur bei 40 Patienten in Zeilenanzahl .....	42
Abb. 3.8-4 Häufigkeitsverteilung der logarithmierten initialen Sehschärfe ohne Brillenkorrektur von 9 Patienten in logMAR.....	43
Abb. 3.8-5 Häufigkeitsverteilung der logarithmierten finalen Sehschärfe ohne Brillenkorrektur von 19 Patienten in logMAR.....	44
Abb. 3.8-6 Häufigkeitsverteilung des Zeilengewinns von 5 Patienten durch die T-Cut-Operation ermittelt ohne Brillenkorrektur mit der ETDRS-Tafel in Zeilenanzahl .....	45

## 8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 Indikation der 41 Augen mit T-Cuts .....	15
Tabelle 2-2 Darstellung der Punkteverteilung in Minuszylinderschreibweise zur Bildung von Astigmatismus-Score entsprechend der Zylindersärke und der Achslage [16] .....	23
Tabelle 3-1 Übersicht über die induzierte Änderung durch die T-Cut-Operation innerhalb der untersuchten Patientengruppe.....	26
Tabelle 3-2 Patientenbewertung des Operationserfolges anhand der einzelnen Fragebogendimensionen .....	47
Tabelle 3-3 Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse mit der abhängigen Variable <i>Verbesserung des refraktiven Astigmatismus-Scores</i> durch die T-Cut-Operation.....	48
Tabelle 3-4 Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse mit der abhängigen Variable <i>Verbesserung des keratometrischen Astigmatismus-Scores</i> durch die T-Cut-Operation.....	48
Tabelle 3-5 Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse mit der abhängigen Variable <i>Verbesserung der Sehschärfe mit bestmöglicher Brillenkorrektur</i> durch die T-Cut- Operation.....	49
Tabelle 3-6 Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse mit der abhängigen Variable <i>Zunahme des irregulären Astigmatismus</i> durch die T- Cut-Operation.....	50

Tabelle 3-7 Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse mit der abhängigen Variable „ <i>General Vision</i> “.....	51
Tabelle 4-1 Postoperativer Visusabfall bei 9 Patienten .....	65

## 9 Literaturverzeichnis

- [1] Hansen L.: Augenheilkunde systematisch. 2. Auflage. Bremen: UNI-MED Verlag AG. 2007: 127.
- [2] Diepes H.: REFRAKTIONSBESTIMMUNG. 3. Auflage. Heidelberg: DOZ-Verlag Optische Fachveröffentlichung GmbH. 2004: 48-49.
- [3] Fyodorow SM, Durner W.: Surgical correction of complicated myopic astigmatism by means of dissection of circular ligament of cornea. Ann Ophthalmol. 1981;13: 115-118.
- [4] Lindstrom RL.: The surgical correction of astigmatism. J Cataract Refract Surg. 1990;6: 441-454.
- [5] Thornton SP.: Astigmatic keratotomy: a review of basic concepts with case reports. J Cataract Refract Surg. 1990;16: 430-435.
- [6] Nordan LT, Hofbauer JD.: Astigmatism: concept and surgical approach – irregular astigmatism. In: Nordan LT, Maxwell WA, Daidson JA (eds) The Surgical Rehabilitation of Vision. New York: Gower Medical Publishing. 1992.
- [7] Augustin A.J.: Augenheilkunde. 2. Auflage. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin. 2001: 801-804.
- [8] Saragoussi JJ, Abenhaim A, Pouliquen Y.: Results of transverse incisions in surgical correction of severe post-keratoplasty astigmatism. J Fr Ophthalmol, 1990;13(10): 492-9.
- [9] Saragoussi JJ, Abenhaim A, Waked N, Koster HR, Pouliquen YJ.: Results of transverse keratotomies for astigmatism after penetrating keratoplasty: a retrospective study of 48 consecutive cases. Refract Corneal Surg. 1992 Jan-Feb;8(1): 33-8.
- [10] Kohnen T.: Refraktive Chirurgie. 1. Auflage. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin. 2011: 185.
- [11] Warning GO, Holladay JT.: Refractive keratotomy for myopia and astigmatism. Mosby, St. Louis MO. 1992.

- [12] Burk A, Burk R.: Checkliste Augenheilkunde. 3. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag. 2005: 605.
- [13] Faktorovich EG, Maloney RK, Price FW, et al.: Effect of astigmatic keratotomy on spherical equivalent: results of the astigmatism reduction clinical trial. Am J Ophthalmol. 1999;127: 260-269.
- [14] Duffey RJ, Jain VN, Tchah H, et al.: Paired arcuate keratotomy: a surgical approach to mixed and myopic astigmatism. Arch Ophthalmol. 1988;106: 1130-1135.
- [15].Holladay J, MD, FACS.: Proper Method for Calculating Average Visual Acuity. Journal of Refractive Surgery Volume 13. 1997 July-August: 388-391.
- [16] Morler N, Minassian D, Dart J.: Astigmatism and the analysis of its surgical correction. Ophthalmol. 2001;85: 1127-1138.
- [17] Gerwald A, Wendel L, Oltmanns I.: Auswahlverfahren und Stichprobenkonstruktion. SS 2005: 4.
- [18] Kohnen T.: Refraktive Chirurgie. 1. Auflage. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin. 2011: 191.
- [19] Solomon A, Siganos CS, Frucht-Pery J.: Relaxing incision guided by videokeratography for astigmatism after keratoplasty for keratoconus. J Refract surg. 1999 May-Jun;15(3): 343-8.
- [20] Poole TR, Ficker LA.: Astigmatic keratotomy for post-keratoplasty astigmatism. J Cataract Refract Surg. 2006 Jul;32(7): 1175-9.
- [21] Kaminski S, Barisani-Asenbauer T, Biowski R, Baumgartner I.: Tangentiale Keratotomie zur Korrektur des Astigmatismus nach perforierender Keratoplastik. Spektrum Augenheilkd. 1997;1/4: 129-131.
- [22] [http://www.aravind.org/sics/chapter6\\_6.htm](http://www.aravind.org/sics/chapter6_6.htm) [Abfrage: 16.01.2013]
- [23] Mangione C, Lee P, MD, Gutierrez P, Spritzer K, Berry S, Hays R.: Development of the 25-list-item National Eye Institute Visual Function Questionnaire. Arch Ophthalmol. 2001;119(7): 1050-1058.



[24] Snellen H.: Die Richtung der Hauptmeridiane des astigmatischen Auges. Archiv für Ophthalmologie. 1869 June, Volume 15, Issue 2: 199-207.